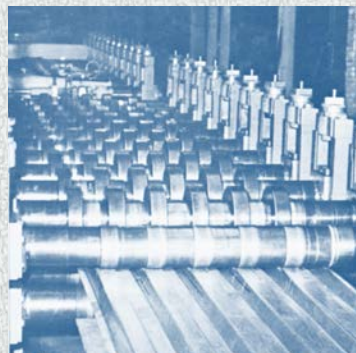




Alfonas DANIŪNAS

PLONASIENĖS METALINĖS KONSTRUKCIJOS



VG TU leidykla TECHNIKA

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Alfonsas Daniūnas

PLONASIENĖS METALINĖS KONSTRUKCIJOS

Mokomoji knyga

Vilnius „Technika“ 2012

UDK 624.01(075.8)

Da255

A. Daniūnas. Plonasienės metalinės konstrukcijos: mokomoji knyga.

Vilnius: Technika, 2012. 171 p.

Mokomojoje knygoje pateikiama plonasienių, šaltai suformuotų elementų ir lakštų skaičiavimo teorija ir jų projektavimo metodika pagal standartą Eurokodas 3. Knygoje pateikiamas plonasienių elementų ir lakštų apibūdinimas, jų skaičiavimo specifika, kuri atsiranda dėl elemento lakštų didelio pločio ir storio santykio. Didelis dėmesys skiriamas plonasienių elementų stabilumo supratimui ir skaičiavimui, kadangi tai didžiąja dalimi lemia šių elementų sėkmingą projektavimą.

Knygoje taip pat pateikiamas trumpas aprašymas šaltai suformuotų elementų ir lakštų gamybos būdų bei jų taikymas pastatų ir statinių plieninių konstrukcijų projektavimui.

Mokomoji knyga skirta statybos inžineriją studijuojantiems magistrantams ir besispecializuojantiems modernių plieninių konstrukcijų projektavimo srityje. Knyga taip pat naudinga praktikams konstruktoriams.

Leidiny parengtas ir išleistas už Europos socialinio fondo lėšas vykdant projektą „Transporto ir civilinės inžinerijos sektorių mokslo, verslo ir studijų integravimo didinimas (TRANCIV)“, VP1-2.2-ŠMM-09-V-01-008.

Recenzantai: prof. dr. Romualdas Kliukas, Medžiagų atsparumo katedra, VGTU
prof. dr. Algirdas Juozapaitis, Tiltų ir specialiųjų statinių katedra, VGTU

VGTU leidyklos TECHNIKA 1410-S mokomosios
metodinės literatūros knyga

<http://leidykla.vgtu.lt>

ISBN 978-609-457-357-6

eISBN 978-609-457-381-1

doi: 10.3846/1410-S

© Alfonsas Daniūnas, 2012

© VGTU leidykla TECHNIKA, 2012

TURINYS

Ivadas	4
1. Plonasienių konstrukcijų bendras apibudinimas	5
2. Plonasienių elementų skaičiavimo teoriniai pagrindai	12
3. Bendrosios plonasienių elementų skaičiavimo pagal EC3 nuostatos.....	22
4. Vietinis pastovumas	38
5. Skerspjūvių laikomoji galia	46
6. Klumpamoji galia.....	58
7. Tinkamumo ribiniai būviai.....	73
8. Jungčių projektavimas.....	73
9. Stogo ilginiai	77
10. Kolonos	98
11. Sijos	103
12. Trapeciniai lakštiniai profiliuočiai	104
13. Statiniai iš plonasienių konstrukcijų.....	110
14. Plonasienių konstrukcijų skaičiavimo pavyzdžiai	121
Literatūra	154
A Priedas	155

IVADAS

Projektuojant statinius siekiama, kad jie būtų pakankamai lengvi ir ekonomiški. Todėl vis plačiau naudojamos plonasienės konstrukcijos. Plonasieniai elementai, tokie kaip ilginiai, rėmo elementai (kolonos, sijos) vis dažniau pakeičia tradicinius valcuotus elementus (sijas, kolonas) ir ypač valcuotus ilginius. Taip pat šie plonasieniai elementai dažnai pakeičia ir konstrukcijas iš kitų medžiagų, pvz. medines. Prie plačiai naudojamų konstrukcinių elementų reikia priskirti ir profiliuotus lakštus. Jie jau buvo naudojami ir ženkliai anksčiau. Tačiau dabar dėl tobulesnės jų gamybos technologijos (sudėtingesnė forma ir pan.) ir panaudojimo ne tik stogams, bet ir net perdangoms, jų panaudojimo sritis labai išsiplėtė.

Skaičiuojant plonasienius elementus turi būti atsižvelgta, kad veikiant ašiniai jėgai, lenkimo momentui, skersinei jėgai ir jų bendram poveikiui gali būti pasiekti šie ribiniai būviai: tampraus pastovumo ribinis būvis, kai plonasienis elementas netenka laikomosios galios dėl vietinio ar bendrojo pastovumo netekimo; tamprus ribinis būvis, kai labiausiai įtemptose skerspjuvio dalyse pasiekiami įtempiai lygūs didžiausiems įtempiams, kada laikoma, kad dar medžiaga dirba tampriai; plastinis ribinis būvis, kai skerspjuvyje pasiekiami įtempiai, laikant, kad medžiaga dirba idealiai tampriai plastiškai; šiuo atveju neturi būti vertinamas medžiagos sustiprėjimas ir maksimalūs įtempiai priimami didžiausi, kad dar medžiaga laikoma, kad dirba tampriai; suirimo ribinis būvis, kai pasiekama tikroji skerspjuvio laikomoji galia vertinant medžiagos sustiprėjimą.

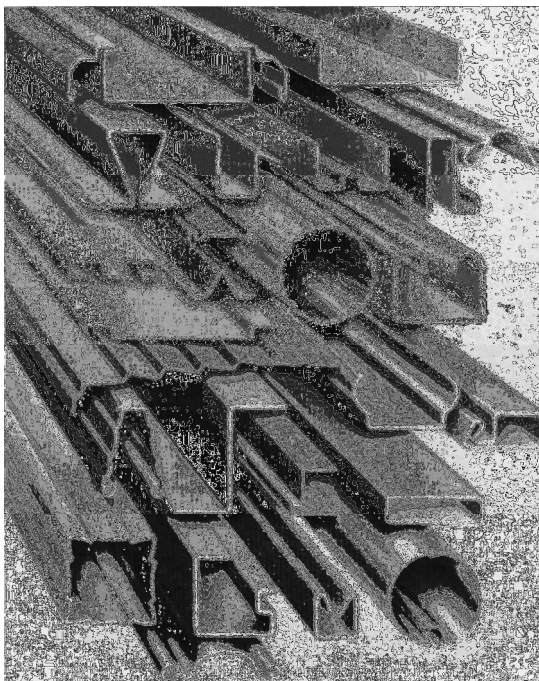
Mokomoji knygoje aptarti teoriniai plonasienių skaičiavimo metodai ir praktiniai skaičiavimo metodai, kurie paremti projektavimo Eurokodais EC3. Pateikta teorinė medžiaga iliustruota plonasienių konstrukcijų skaičiavimo pavyzdžiais. Priede pateikta sukamų plonasienių elementų skaičiavimo teorija.

1. PLONASIENIŲ KONSTRUKCIJŲ BENDRAS APIBUDINIMAS

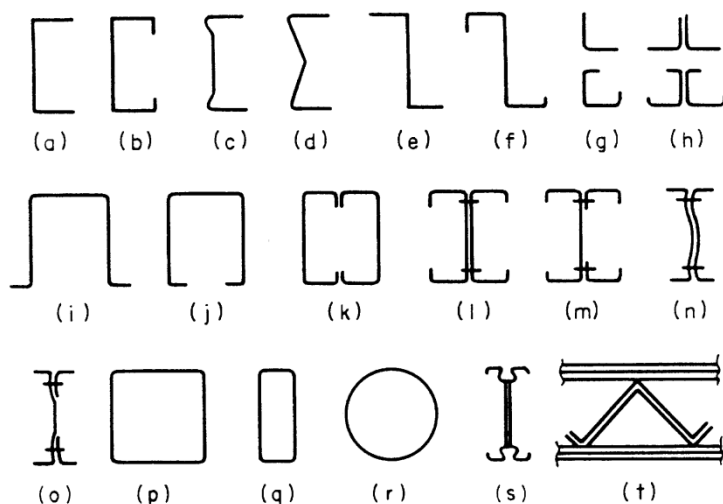
Plonasienės metalinės konstrukcijos:

- iš šaltai suformuotų (cold-formed) elementų
- sudėtinio skerspjūvio elementai iš liaunų plonų lakštų (sijos, kolonos)
- kevalai, plokštės

Dažniausiai plonasienės metalinės konstrukcijos suprantamos kaip konstrukcijos sudarytos iš šaltai suformuotų elementų.



1.1 pav. Šaltai formuoti elementai ir lakštai



1.2 pav. Šaltai formuoti skerspjuviai

Šaltai formuoti (CF) gaminiai:

- elementai,
- banguoti lakštai (pagal EC3 trapeciniai lakštiniai profiliuočiai),
- sandwich tipo plokštės.

Banguoti lakštai naudojami:

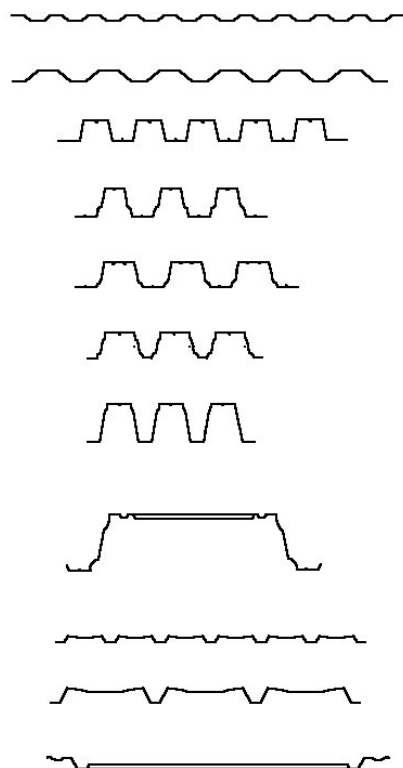
- stogo paklotui,
- perdangų paklotui,
- Trisluoksnės plokštės.

Banguotų lakštų parametrai:

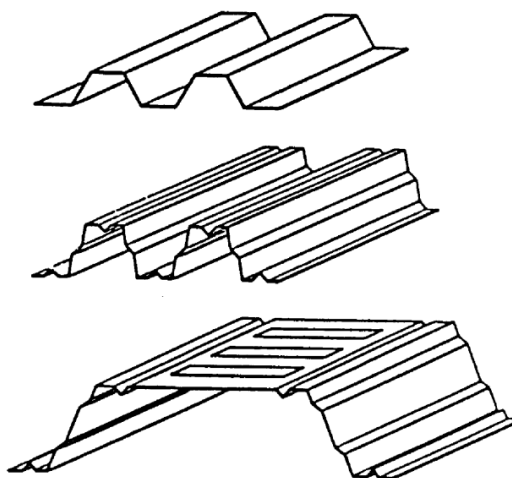
- aukštis – 40–200 mm,
- storis 0.5–2 mm,
- naudojami ir kiti matmenys.

Trapecinių lakštinių profiliuotųjų tipai:

- be sąstandų (paprastai iki 3 m tarpatramiams),
- su išilginėmis sąstandomis (iki 7 m tarpatramiams),
- su išilginėmis ir skersinėmis sąstandomis (iki 12 m tarpatramiams).



1.3 pav. Trapecinių lakštinių profiliuotųjų skerspjūviai



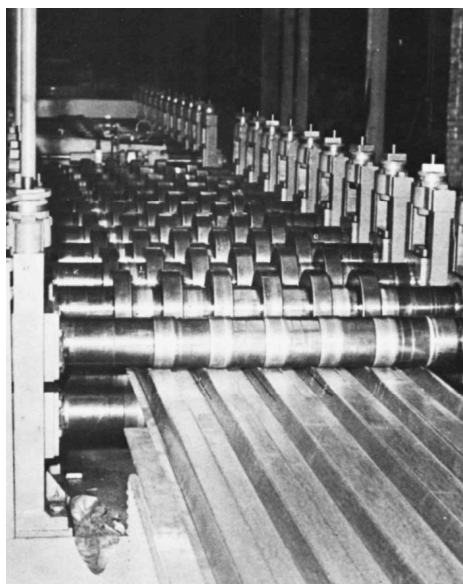
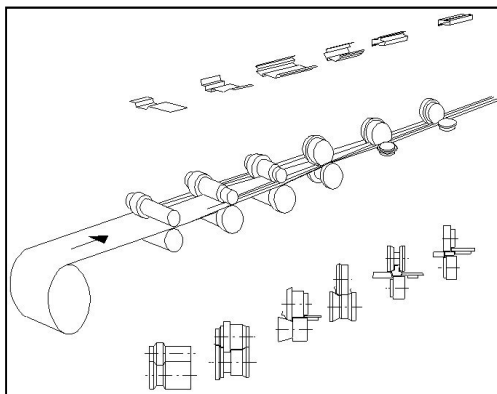
1.4 pav. Trapecinių lakštinių profiliuotųjų tipai



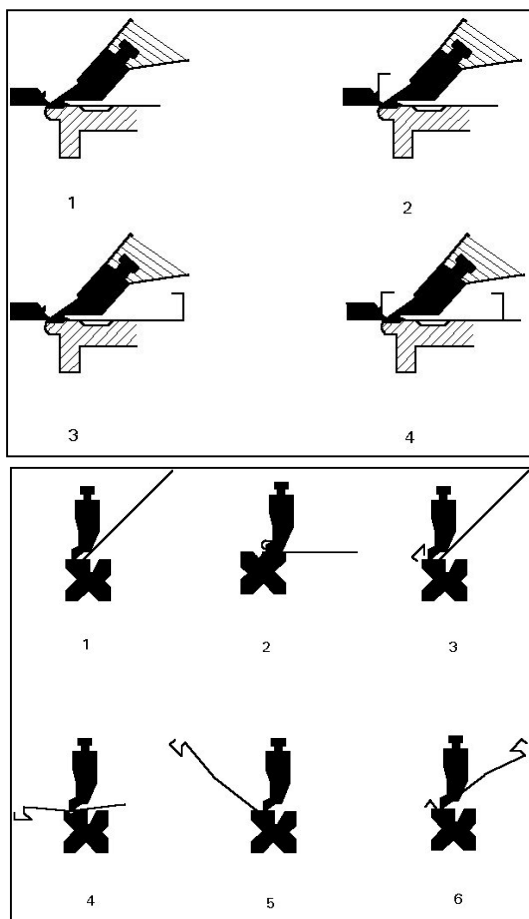
1.5 pav. Trisluoksnių plokščių skerspjūviai

Šaltai formuotų (CF) gaminių gamybos būdai:

- šaltas valcavimas
- šaltas lankstymas



1.6 pav. Šaltai formuotų gaminių valcavimas



1.7 pav. Šaltai formuotų gaminių lankstymas

Šaltai formuotų (CF) gaminių medžiagos:

- plieno lakštai tinkami šaltam formavimui
takumo riba 200–550 MPa
antikorozinės dangos, dažniausiai cinko (tuomet lakšto storis
paprastai neturi būti didesnis kaip 3,5 mm)
- aliuminio lydinų lakštai

Šaltai formuotų (CF) gaminių privalumai:

- statybinis efektyvumas (didelis laikomosios galios ir svorio santykis)
- lengvumas sumažina bendrą konstrukcijos svorį
- geras paviršiaus apdorojimas
- projektavimo įvairovė (įvairūs skerspjūviai)
- didelis montavimo greitis
- lengvai pritaikoma šilumos ir garso izoliacija
- daugeliu atvejų pakankamai paprasti sujungimai

Šaltai formuotų (CF) gaminių panaudojimas lengvoms konstrukcijoms:

- gamybiniai ir visuomeniniai pastatai
- gyvenamieji pastatai
- laikinieji pastatai
- kompozitinės konstrukcijos

2. PLONASIENIŲ ELEMENTŲ SKAIČIAVIMO TEORINIAI PAGRINDAI

Bendrosios pastabos

Skaiciuojant plonasienius elementus turi būti atsižvelgta, kad veikiant ašiniai jėgai, lenkimo momentui, skersinei jėgai ir jų bendram poveikiui gali būti pasiekti šie ribiniai būviai:

- tamprus pastovumo ribinis būvis, kai plonasienis elementas netenka laikomosios galios dėl vietinio ar bendrojo pastovumo netekimo;
- tamprus ribinis būvis, kai labiausiai įtemptose skerspjūvio dalyse pasiekiami įtempiai lygūs didžiausiems įtempiams, kada laikoma, kad dar medžiaga dirba tampriai;
- plastinis ribinis būvis, kai skerspjūvyje pasiekiami įtempiai, laikant, kad medžiaga dirba idealiai tampriai plastiškai; šiuo atveju neturi būti vertinamas medžiagos sustiprėjimas ir maksimalūs įtempiai priimami didžiausi, kad dar medžiaga laikoma, kad dirba tampriai;
- suirimo ribinis būvis, kai pasiekama tikroji skerspjūvio laiko-
moji galia vertinant medžiagos sustiprėjimą...

Šiuos ribinius būvius galima apskaičiuoti taikant plonasienių elementų stiprumo ir stabilumo skaičiavimus.

Plonasienių elementų skaičiavimo ypatybės atsiranda todėl, kad lankstyto skerspjūvio elementai yra labai ploni. Šį plonumą nusako aukščio (pločio) ir storio santykis. Todėl šie elementai gali netekti pastovumo dėl atskirų jo dalių vietinio pastovumo praradimo jau tamprioje stadijoje. Plonasieniuose elementuose išpjautos skylės dar padidina vietinio pastovumo praradimo galimybę.

Tampraus plonasis elemento netekimo formos gali būti vietinio pastovumo netekimas, pastovumo netekimas dėl skerspjūvio distorsijos ir elemento bendrojo pastovumo netekimas. Šias netekimo formas galima apibūdinti taip.

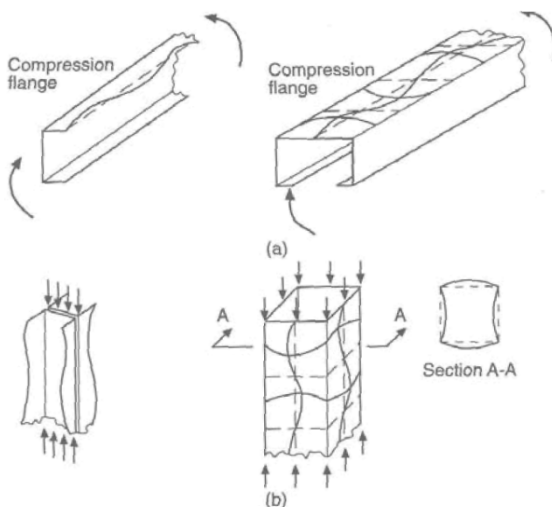
Vietinis pastovumas: skerspjūvio elementų pastovumo netekimas, kai skerspjūvio elementų sujungimai išlieka tiesūs ir kampai tarp skerspjūvio elementų išlieka nepakitę.

Distorsinis pastovumas (stabilumas): skerspjūvio formos pasikeitimas, nevertinant vietinio pastovumo.

Bendrasis pastovumas arba lenkiamasis-sukamasis stabilumas: elemento pastovumo forma, kuri apima elemento išlinkius iš lenkimo plokštumos kartu su skerspjūvio susisukimu apie skerspjūvio šlyties centrą.

C skerspjūvio elemento skerspjūvio pastovumo formos ir viso elemento parodytos 2.1 pav.

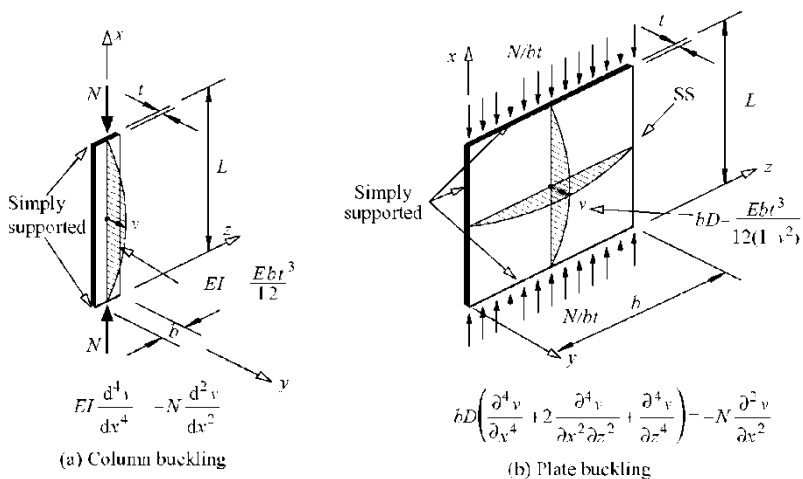
Vietinis pastovumas



2.2 pav. Gniuždomų elementų vietinis pastovumas:
a) lenkiamas elementas, b) gniuždomas elementas

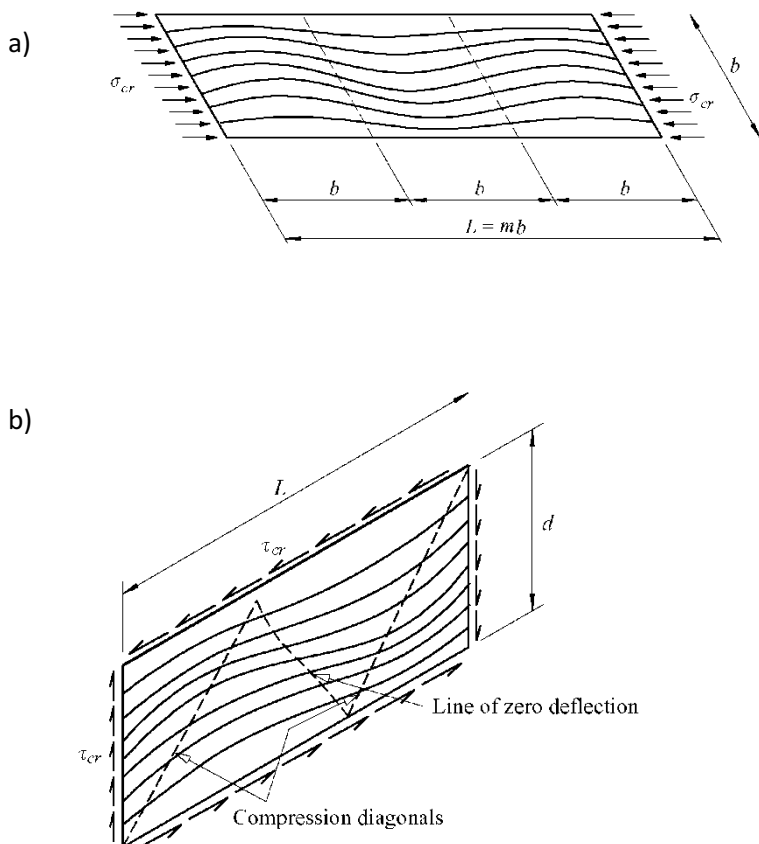
Plonų plokštelių pastovumas

Visus plieninius plonasienius (jų skerspjūvius) galima laikyti sudarytus iš stačiakampių plokštelių (juostos, sienelė ir t. t.), kurios tarpusavyje yra sujungtos. Šios plokštelės jų plokštumoje gali būti tempiamos, gniuždomos, lenkiamos, veikiamos vietinės apkrovos ar veikiamos kelių minėtų poveikių vienu metu.



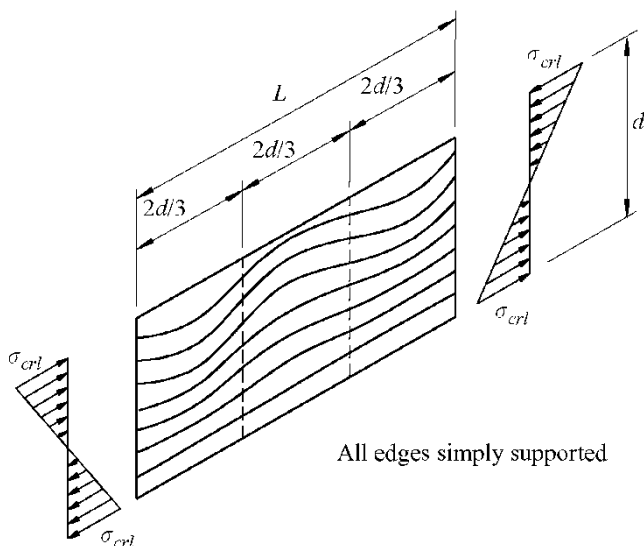
2.3 pav. Gniuždomos kolonos ir gniuždomos plokštelės palyginimas

Plokštelių elgsena aprašoma ketvirtos eilės diferencialine lygtimi. Iš šios lygties galima rasti plokštelės poslinkį v . Žinant plokštelės poslinkius galima rasti ir kritinius įtempius prie kurių plokštelė netenka pastovumo.



2.4 pav. Gnūždomos (a), šliejamos (b) ir lenkiamos (c) plokštelės elgsena

c)



2.4 pav. Gniuždomos (a), šliejamos (b) ir lenkiamos (c) plokštelės elgsena

Plonasienių skerspjuvių vietinis pastovumas paprastai nustatomas skerspjuvį sudalinant į atskiras plokšteles. 2.5 pav. parodytas tolygiai gniuždomo plonasienis elementas.

Sienelė (pažymėta „1“) yra sustandintas skerspjuvio elementas ir gali būti modeliuojamas kaip tolygiai gniuždoma ilga stačiakampė plokštelė laisvai paremtais kraštais. Tokios plokštelės kritiniai įtempiai skaičiuojami taip:

$$\sigma_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{w} \right)^2$$

čia:

E – tamprumo modulis,

ν – Puasono koeficientas,

t – plokštelės storis,

w – plokštelės plotis,

k – plokštelės klupumo koeficientas; šiuo atveju lygus 4,0.

Juosta (pažymėta „2“) yra sustandintas skerspjuvio elementas, kurio vienas kraštas sustandintas skerspjuvio užlanka (pažymėta „3“). Šio krašto parėmimo sąlygas sunkiausia įvertinti. Esant pakankamai aukštai užlankai galima juostą modeliuoti kaip laisvai kraštais paremtą plokštelę. Kai užlanka yra neaukšta praktiškai turime kraštą artima laisvam kraštui ir juostą tuomet reiktų modeliuoti kaip plokštele, kurios vienas kraštas laisvai paremtas, o kitas laisvas kraštas.

Užlanka (pažymėta „3“) yra nesustandintas elementas ir ją galima modeliuoti kaip plokštelę, kurios vienas kraštas laisvai paremtas, o kitas kraštas visiškai laisvas. Šiuo atveju $k = 0,425$.

Jei elementas yra netolygiai gniuždomas (pavyzdžiui veikiamas lenkimo momento) tai plokštelių kritiniai įtempiai apskaičiuojami pagal tą pačią formulę tik imant kitokį plokštelės klupumo koeficientą.

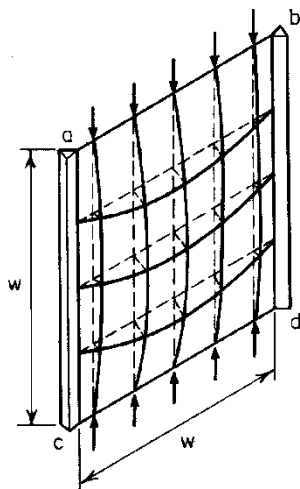
Skerspjuvio vietinio pastovumo tikrinimas imant skerspjuvio elementus kaip atskiras plokšteles neužtikrina viso skerspjuvio pusiausvyros ir suderinamumo. Kaip pavyzdį čia galima būtų pasakyti, kad skaičiuojant atskiras plokšteles įtempiai plokštelių kraštuose, kur jos susiglaudžia (skerspjuvio briauna) būtų nevienodi.

Plokštelių jungtys

Dauguma elementų yra sudaryti iš plokščių plokštelių (pvz. dvitėjas iš trijų plokštelių). Faktiškai šios plokštelės tarpusavyje per bendras kraštines sujungtos standžiai. Skaičiavimo suprastinimui priimama, kad visos plokštelės per bendras kraštines yra sujungtos lanksčiai (šarnyriškai) ir nesujungtos kraštinės priimamos, kad yra visiškai laisvos (t. y. poslinkiai nesuvaržyti). Tokiu būdu gaunamas konservatyvus sprendinys („į atsargos pusę“).

Pokritinė plokštelių elgsena

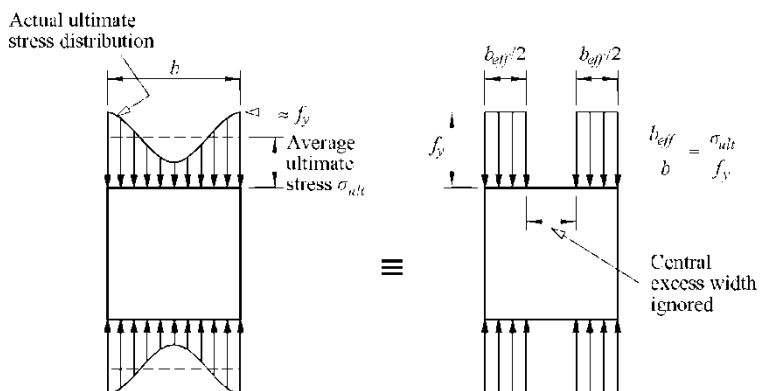
Plonasienė plokštelė netekusi pastovumo gali ir toliau perimti apkrovą. Taip yra todėl, kad plokštelė nėra visiškai laisva, ji įtvirtinta bent jau dviem kraštais.



2.6 pav. Stačiakampės plokštelės pokritinė elgsena

Šiuo atveju didinant apkrovą įtempiai prie plokštelės įvirtinimų didėja, o link plokštelės vidurio mažėja. Šis efektas yra tuo didesnis, kuo didesnis plokštelės pločio/storio santykis. Mažėjimas įtempių link plokštelės vidurio rodo, kad tos plokštelės dalies poslinkiai didėja ir ji negali jau perimti apkrovos. Įtempiai prie plokštelės kraštų didėja, kol pasiekiamas takumas (čia takumas turima mintyti, tai, kad tekėjimas pasiekiamas dėl normalinių ar tangentinių įtempių ar jų bendro poveikio). Toliau net mažai padidinus apkrovą įtempiai pradeda greitai didėti ir plokštelė suyra.

Analitiškai apskaičiuoti šį būvį yra pakankamai sunku, todėl šis būvis modeliuojamas apytiksliai taikant taip vadinamą efektyvaus pločio koncepciją. Pagal šią koncepciją šarnyriškai poremtoje plokštelėje ribiniame būvyje vidurinioji plokštelės dalis nevertinama (išmetama), kraštinėse dalyse priimama, kad įtempių pasiskirstymas yra tolygus ir įtempiai lygus takumo įtempiams.



2.7 pav. Efektyvaus pločio koncepcijos taikymas

Pasiūlyta, kad efektyvus plotis nustatomas iš sąlygos

$$\frac{b_{eff}}{b} = \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{f_y}}.$$

Eksperimentai gerai patvirtina šią sąlygą, tačiau įvertinant išankstinį plokštelių neplokštumą (kreivumą) ir liekamuosius įtempius pasiūlyta, kad plonasieniams lankstytiems skerspjuviams

$$\frac{b_{eff}}{b} = \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{f_y}} \left(1 - 0,22 \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{f_y}} \right).$$

Atkreipiamė dėmesį, kad pokritinis skaičiavimas galimas tik taikant netiesinę plokštelių skaičiavimo teoriją.

Pastovumo netekimas dėl skerspjuvio distorsijos

Skerspjuvio deformacijos dėl skerspjuvio distorsijos buvo parodytos 2.1 pav. kaip jau buvo minėta tai skerspjuvio formos pasikeitimas nevertinant skerspjuvio atskirų elementų vietinio pastovumo. Nustatyti kritinius distorsinio pastovumo netekimo įtempius analitiškai yra sunku.

Paprastai aptariami du atvejai distorsijų deformacijų vertinimo kai turime kraštines sąstandas ir kai turime tarpines sąstandas.

Kraštnių sąstandų atveju (2.1 pav.) vertinamos membraninės deformacijos juostoje ir užlankoje ir lenkimo deformacijos sienelėje. Paprastai pateikiamos plokštelės klupumo koeficiento k apytikrės reikšmės.

Kaip alternatyva šio tipo skaičiavimams distorsinis klupumas vertinamas kitu apytikriu būdu. Distorsinis klupumas vertinamas mo-

deliuojant kraštinę sąstandą kaip gniuždomą strypą ant tampraus pagrindo kas modeliuojama spyruokle, kurios standis priklauso nuo kraštinėje sąstandoje jungiamų plokščių skerspjūvio dalių lenkiamojo standžio ir elemento pakraštinių sąlygų. Šis metodas yra pritaikytas Eurokode 3-1-3 dalyje.

Iškreipiamojo pastovumo vertinimas? tarpinių sąstandų atveju atliekamas panašiai kaip ir kraštinių sąstandų atveju. 3.... pav. parodyta iškreipiamojo pastovumo modeliavimas gniuždomu strypu ant tampraus pagrindo.

Bendrasis lenkiamasis-sukamasis klupumas

Ekscentriškai gniuždomi strypai gali klusti išlinkstant apie vieną iš svarbiausių skerspjūvio ašių dėl lenkiamojo klupumo netekimo, susisukti apie šlyties centrą dėl sukumajo klupumo netekimo arba išlinkti ir susisukti nuo dėl lenkiamojo-sukumajo klupumo netekimo.

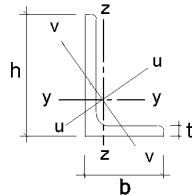
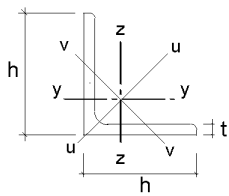
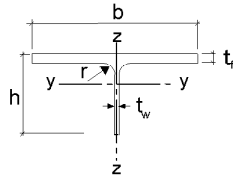
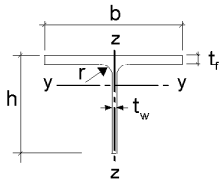
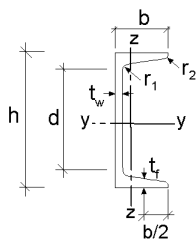
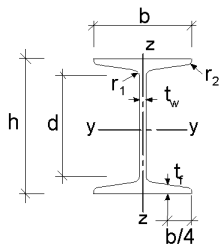
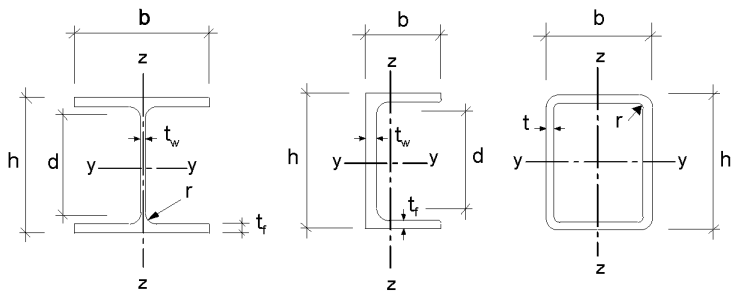
Priklausomai nuo skerspjūvio formos, apkrovos pobūdžio ir strypo įtvirtinimo sąlygų gali pasireikšti viena ar kita klupumo netekimo forma. Plonasieniuose elementuose dėl skerspjūvio nesimetriškumo, skerspjūvio atvirumo?? (atviras skerspjūvis) dažniausiai pasireiškia lenkiamasis-sukamasis klupumo netekimo atvejis.

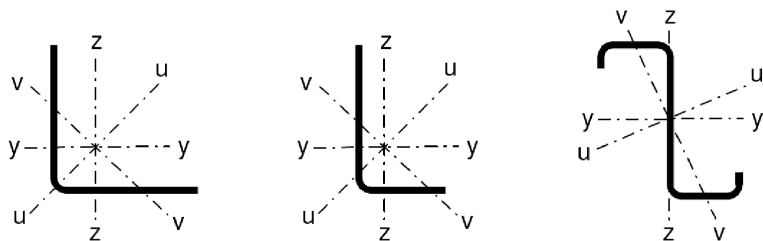
3. BENDROSIOS PLONASIENIŲ ELEMENTŲ SKAIČIAVIMO PAGAL EC3 NUOSTATOS

Žymėjimai ir elementų ašys

Žymėjimai, naudojami Eurokode 3-1

Elementų ir jų skerspjūvių ašių žymėjimas yra suderintas su elementų ašių žymėjimu, taikomu kompiuterinėse skaičiavimo ir projektavimo programose. Eurokode priimta, kad $x-x$ ašis eina per elemento sunkio centrą, o ašys $y-y$ ir $z-z$ yra skerspjūvio ašys. Dažniausiai $y-y$ ašis yra stiprioji svarbiausioji skerspjūvio ašis (lygiagreči su skerspjūvio juostomis), o $z-z$ ašis silpnoji svarbiausioji ašis.





3.1 pav. Skerspjūvių matmenys ir ašys pagal EC 3

Skerspjūvių klasifikacija (EC3)

Konstrukcijos elementų elgseną ir skaičiavimo metodus pirmiausia lemia elementų skerspjūvių elgsena. Vieniems skerspjūviams dėl jų dalių (sienelės, juostų ar pan.) standumo gali būti leidžiamos plastinės deformacijos, kitų skerspjūvių dalys yra gana liaunos ir gali netekti vietinio pastovumo jau tamprios būklės. Siekiant apibūdinti skerspjūvių elgseną, esant įvairiam įtempių būviui, visi skerspjūviai Eurokode 3 grupuojami į keturias skerspjūvių klases. Skerspjūvio priklausomybę vienai ar kitai skerspjūvio klasei lemia plieno stipris pagal takumo ribą ir skerspjūvio dalių pločio ir storio santykis.

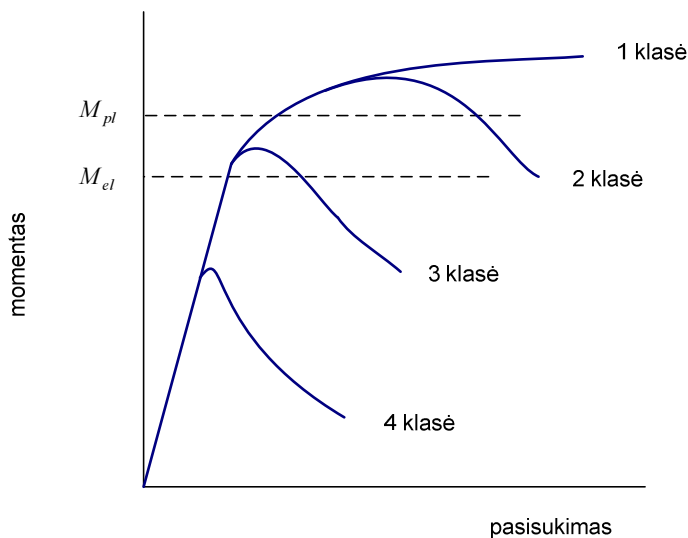
Skerspjūvių klasės apibudinamos taip:

- pirmos klasės skerspjūviai – tai skerspjūviai, kurie gali sudaryti analizei pagal plastiškąjį modelį reikiamą sukamosios gebos plastinį lankstą, kai bendroji galia nesumažėja. Pirmos klasės skerspjūviuose gali būti pasiektas tekėjimas visame skerspjūvyje gniuždymo, lenkimo ir lenkimo gniuždymo atvejais ir gali būti naudojami projektuojant plastines konstrukcijas. Gniuždomomis dalimis laikomos visos dalys, kurios, veikiant nagrinėjamo derinio apkrovoms, yra visiškai arba iš dalies gniuždomos.

– antros klasės skerspjuviai – tai skerspjuviai, kurie pasiekia savo plastinę lenkiamąją galią, tačiau dėl vietinio klupumo jų sukamoji geba yra ribota. Antros klasės skerspjuviams, kaip ir pirmos klasės skerspjuviams, tekėjimas gali būti visame skerspjuvyje, tačiau, palyginti su pirmos klasės skerspjuviais, antros klasės skerspjuviai turi mažesnę sukamąją gebą.

– trečios klasės skerspjuviai – tai skerspjuviai, kuriuose įtempių plieninio elemento kraštiniame gniuždomame sluoksnyje, kai daroma tampriojo įtempių pasiskirstymo prielaida, gali pasiekti stiprį pagal takumo ribą, tačiau vietinis klupumas neleidžia pasiekti plastinės lenkiamosios galios. Trečios klasės skerspjuviuose dėl skerspjuvio dalių vietinio pastovumo leidžiamos tik tampriosios deformacijos, tad skerspjuvio laikomoji galia apskaičiuojama tamprios stadijos.

– ketvirtos klasės skerspjuviai – tai skerspjuviai, kuriuose vietinis klupumas įvyksta prieš pasiekiant stiprį pagal takumo ribą vienoje ar daugiau skerspjuvio dalių. Ketvirtos klasės skerspjuviams atskirose skerspjuvio dalyse leidžiamas vietinio pastovumo netekimas tamprios stadijos ir tai turi būti vertinama apskaičiuojant šių skerspjuvių laikomąją galią.



3.2 pav. Skerspjūvių elgsena

Pirma, antra ir trečia skerspjūvio klasės nustatomos remiantis lentele, pateikta EC3-1-1 dalyje. Skerspjūviai, kurių skerspjūvio dalys nepatenka ir į trečią klasei priskiriamoms skerspjūvio dalims, laikomi ketvirtos klasės skerspjūviais. Ketvirtos klasės skerspjūviams atskirose skerspjūvio dalyse leidžiamas vietinio pastovumo netekimas tamprios stadijos.

Nustatant skerspjūvio klasę plieno stiprio dydžio įtaka įvertinama dauginant skerspjūvio dalies ribinį pločio ir storio santykį iš dydžio ε , kuris apskaičiuojamas taip:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

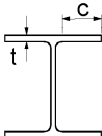
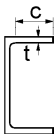
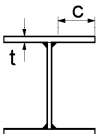
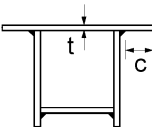
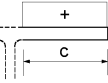
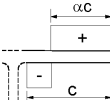
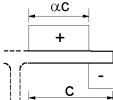
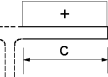
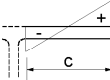
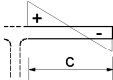
čia f_y – stipris pagal takumo ribą, jo dimensija imama MPa.

5.2 lentelė (1 lapas iš 3). Didžiausiosios gniuždomų dalių pločio ir storio santykio reikšmės

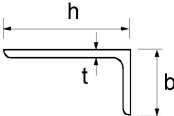
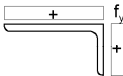
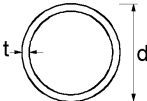
Vidinės gniuždomos dalys						
				Lenkimo ašis		
				Lenkimo ašis		
Klasė	Lenkimo veikiamas dalis	Gniuždymo veikiamas dalis	Lenkimo ir gniuždymo veikiamas dalis			
Įtempių pasiskirstymas dalyse (gniuždymas – teigiamas)						
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	kai $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ kai $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	kai $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ kai $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
Įtempių pasiskirstymas dalyse (gniuždymas – teigiamas)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	kai $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ kai $\psi \leq -1^{*)}$: $c/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

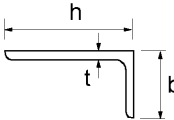
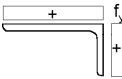
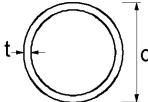
*) $\psi \leq -1$ galioja, kai gniuždomieji įtempiai $\sigma \leq f_y$ arba tempiamoji deformacija $\varepsilon_y > f_y/E$.

5.2 lentelė (2 lapas iš 3). Didžiausiosios gniuždomų dalių pločio ir storio santykio reikšmės

Išsikišusios juostos							
							
Valcuotieji profiliuočiai				Virintiniai profiliuočiai			
Klasė	Gniuždymo veikiamas dalis	Lenkimo ir gniuždymo veikiamas dalis					
		Gniuždymo veikiamas galas		Tempimo veikiamas galas			
Įtempių pasiskirstymas dalyse (gniuždymas – teigiamas)							
1	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Įtempių pasiskirstymas dalyse (gniuždymas – teigiamas)							
3	$c/t \leq 14\varepsilon$	$c/t \leq 21\varepsilon\sqrt{k_{\sigma}}$ k_{σ} žr. EN 1993-1-5					
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460	
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71	

5.2 lentelė (3 lapas iš 3). Didžiausiosios gniuždomų dalių pločio ir storio santykio reikšmės

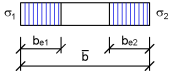
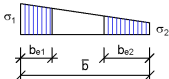
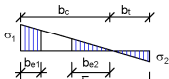
Kampuočiai				Netaikoma kampuočiams, turintiems ištisinį sąlytį su kitais komponentais		
Taip pat taikoma išsikišusioms juostoms (žr. 2 lapą iš 3)						
Klasė	Gniuždymo veikiamas skerspjūvis					
Įtempių pasiskirstymas dalyse (gniuždymas – teigiamas)						
3	$h/t \leq 15\varepsilon; \quad \frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$					
Vamzdiniai profiliuočiai						
						
Klasė	Lenkimo ir (arba) gniuždymo veikiamas skerspjūvis					
1	$d/t \leq 50\varepsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\varepsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\varepsilon^2$					
PASTABA		Santykį $d/t > 90\varepsilon^2$ žr. EN 1993-1-6.				
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ε^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

<p>Kampuočiai</p> <p>Taip pat taikoma „išsikišusioms juostoms“ (žr. 2 lapą)</p>  <p>Netaikoma kampuočiams, turintiems ištisinį sąlytį su kitais komponentais</p>						
Klasė	Gniuždymo veikiamas skerspjuvis					
Įtempių pasiskirstymas dalyse (gniuždymas – teigiamas)						
3	$\eta / \tau \leq 15\varepsilon : \frac{\beta + \eta}{2\tau} \leq 11,5\varepsilon$					
<p>Vamzdiniai profiliuočiai</p> 						
Klasė	Lenkimo ir (arba) gniuždymo veikiamas skerspjuvis					
1	$\delta / \tau \leq 50\varepsilon^2$					
2	$\delta / \tau \leq 70\varepsilon^2$					
3	$\delta / \tau \leq 90\varepsilon^2$					
<p>PASTABA Santyki^{δ / τ} > 90ε² žr. EN 1993-1-6.</p>						
$\varepsilon = \sqrt{235 / \phi_v}$	ϕ_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ε ²	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

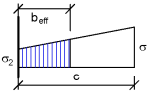
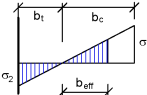
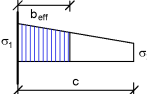
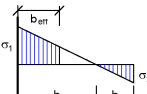
3.3 pav. 5.2 lentelė iš EC3-1

Ketvirtosios klasės skerspjuviams efektyvusis plotis remiantis aukščiau pateiktais teoriniais pagrindais praktiniam naudojimui pateiktas EC3-1-5 dalyje

4.1 lentelė. Vidiniai gniuždomieji elementai

Įtempių pasiskirstymas (teigiami įtempiai, kai vyksta gniuždymas)				Efektyvusis ^p plotis b_{eff}		
				$\underline{\psi} = 1$: $b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$; $b_{e1} = 0,5b_{\text{eff}}$; $b_{e2} = 0,5b_{\text{eff}}$.		
				$1 > \underline{\psi} \geq 0$: $b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$; $b_{e1} = \frac{2}{5-\underline{\psi}} b_{\text{eff}}$; $b_{e2} = b_{\text{eff}} - b_{e1}$.		
				$\underline{\psi} < 0$: $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \underline{\psi})$; $b_{e1} = 0,4b_{\text{eff}}$; $b_{e2} = 0,6b_{\text{eff}}$.		
$\underline{\psi} = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \underline{\psi} > 0$	0	$0 > \underline{\psi} > -1$	-1	$-1 > \underline{\psi} > -3$
Klupumo koeficientas k_{σ}	4,0	$8,2 / (1,05 + \underline{\psi})$	7,81	$7,81 - 6,29\underline{\psi} + 9,78\underline{\psi}^2$	23,9	$5,98(1 - \underline{\psi})^2$

4.2 lentelė. Išoriniai gniuždomieji elementai

Įtempių pasiskirstymas (teigiami įtempiai, kai vyksta gniuždymas)				Efektyvusis ^p plotis b_{eff}		
				$1 > \underline{\psi} \geq 0$: $b_{\text{eff}} = \rho c$.		
				$\underline{\psi} < 0$: $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho c / (1 - \underline{\psi})$.		
$\underline{\psi} = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$1 \geq \underline{\psi} \geq -3$		
Klupumo koeficientas k_{σ}	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\underline{\psi} + 0,07\underline{\psi}^2$		
				$1 > \underline{\psi} \geq 0$: $b_{\text{eff}} = \rho c$.		
				$\underline{\psi} < 0$: $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho c / (1 - \underline{\psi})$.		
$\underline{\psi} = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \underline{\psi} > 0$	0	$0 > \underline{\psi} > -1$	-1	
Klupumo koeficientas k_{σ}	0,43	$0,578 / (\underline{\psi} + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5\underline{\psi} + 17,1\underline{\psi}^2$	23,8	

3.4 pav. 4.2 lentelė iš EC3-5

Medžiagos

EC pateikiamos vardinės naudojamų plienų reikšmės turi būti naudojamos kaip charakteristinės reikšmės.

3.1a lentelė. Vardinės pradinio stiprio pagal takumo ribą f_{yb} ir ribinio tempiamojo stiprio f_u reikšmės

Plieno tipas	Standartas	Klasė	f_{yb} , N/mm ²	f_u , N/mm ²
Karštai valcuoti konstrukcinio plieno gaminiai, 2 dalis. Nelegiruotojo konstrukcinio plieno techninės tiekimo sąlygos	EN 10025 2 dalis	S 235	235	360
		S 275	275	430
		S 355	355	510
Karštai valcuoti konstrukcinio plieno gaminiai, 3 dalis. Normalizuoto/apdirbto normalizaciniu valcavimu suvirinamojo smulkiagrūdžio konstrukcinio plieno techninės tiekimo sąlygos	EN 10025 3 dalis	S 275 N	275	370
		S 355 N	355	470
		S 420 N	420	520
		S 460 N	460	550
		S 275 NL	275	370

3.5 pav. 3.1a lentelė iš EC3-3

f_{yb} – pradinis stipris pagal takumo ribą

f_u – stipris pagal takumo ribą

Šaltai lankstytuose profiliuose dėl šalto lenkimo gali padidėti stipris pagal takumą, todėl skaičiavimuose naudojamas taip vadinamas vidutinis stipris pagal takumo ribą:

$$f_{ya} = f_{yb} + (f_u - f_{yb}) \frac{knt^2}{A_g}, \text{ bet } f_{ya} \leq \frac{(f_u + f_{yb})}{2},$$

čia:

A_g – bendrasis skerspjūvio plotas

k – skaitinis koeficientas, priklausantis nuo formavimo būdo (duodamas EC3)

n – skerspjūvio stačiųjų alkūnių, kurių spindulys $r \leq 5t$

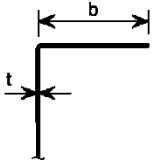
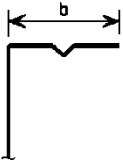
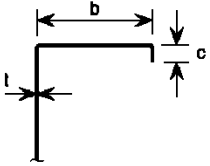
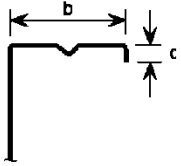
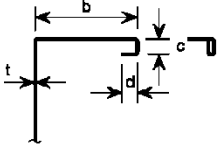
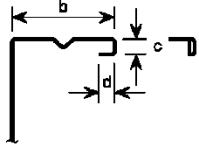
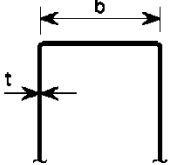
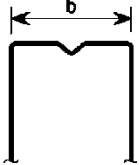
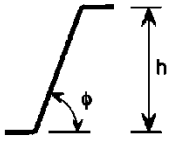
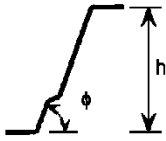
t – elemento storis prieš šaltąjį formavimą

Vidutinio stiprio pagal takumo ribą naudojimo sritys nurodytos EC3-1-3 3.2.2 p.

Taikymo sritys

EC3-1-3 dalis gali būti taikoma elementams skaičiuoti kai galioja jų toks pločio ir storio santykis

5.1 lentelė. Didžiausieji pločio ir storio santykiai

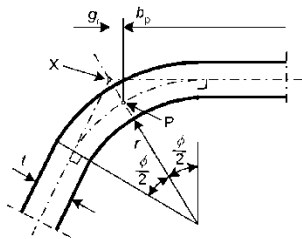
Skerspjūvio elementas		Didžiausioji reikšmė
		$b/t \leq 50$
		$b/t \leq 60$ $c/t \leq 50$
		$b/t \leq 90$ $c/t \leq 60$ $d/t \leq 50$
		$b/t \leq 500$
		$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$

3.6 pav. 5.1 lentelė iš EC3-3

Skerspjuvių suapvalintų kampų poveikis

Šaltai formuojant skerspjuvius neįmanoma gauti, kad skerspjuvio alkūnės neturėtų užapvalinimų.

Skaiciavimuose įvedama plokščiojo pločio sąvoka. Tai atstumas nuo vidurinėsios linijos kampinių taškų.



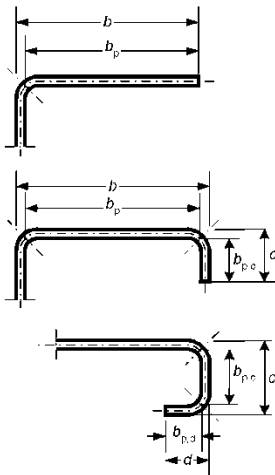
(a) Kampo arba alkūnės vidurinis taškas

X – vidurinių tiesių sankirta;

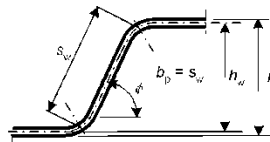
P – kampų vidurinis taškas.

$$r_m = r + t / 2;$$

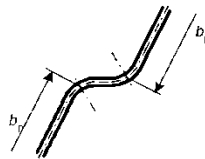
$$g_x = r_m \left(\lg \left(\frac{\phi}{2} \right) - \sin \left(\frac{\phi}{2} \right) \right).$$



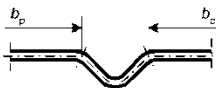
(b) Tariamasis plokščiųjų juostų dalių plokščiasis plotis b_p



(c) Tariamasis sienelės plokščiasis plotis b_p (nuožulnumo aukštis r_m)



(d) Tariamasis plokščiųjų dalių, esančių greta sienelės sąstandos, plokščiasis plotis b_p



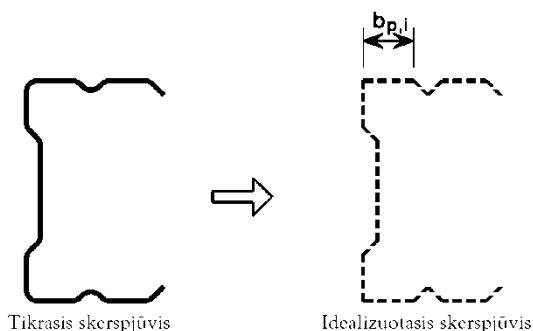
(e) Tariamasis plokščiųjų dalių, esančių greta juostos sąstandos, plokščiasis plotis b_p

5.1 paveikslas. Tariamieji plokščiųjų skerspjūvio dalių pločiai b_p , priklausantys nuo kampo spindulio

3.7 pav. 5.1 pav. iš EC3-3

Skerspjūvio rodikliai (charakteristikos) turi būti skaičiuojamos:

- Tiksliai pagal skerspjūvio geometriją (nėra supaprastinamų);
- Galima nekreipti į užapvalinimo kampus dėmesio (imame skerspjūvį su „aštriomis alkūnėmis“), jei vidinis spindulys $r \leq 5t$ ir $r \leq 0,10b_p$ (5.2 pav.)
- Taikyti supaprastintą metodiką duodamą EC3-1-5



5.2 paveikslas. Apytikslis suapvalintų kampų įvertinimas

3.8 pav. 5.2 pav. iš EC3-3

4. VIETINIS PASTOVUMAS

Bendrosios pastabos

Teorinėje dalyje nagrinėjant gniuždomų plokštelių pastovumą teigėme, kad pokritiniame būvyje netolygų įtempių pasiskirstymą galima pakeisti tolygiu įtempių pasiskirstymu priimant, kad jų dydis lygus plastinio tekėjimo įtempiams ir sumažinant elemento plotį (storis elemento paliekamas toks pat). Kiekvieno skerspjūvio gniuždomo elemento efektyvusis plotis apskaičiuojamas iš plokštelės pastovumo skaičiavimo. Jei turi sąstandas, tuomet efektyvusis plotis skaičiuojamas tarp sąstandų ar sąstandos ir kampo. Alkūnės ir sąstandos laikomos, kad turi tam tikrą standumą ir skaičiuojant modeliuojami kaip ištisinės per visą ilgį turinčios tam tikrą standį atramos ir jos paprastai modeliuojamos kaip spyruoklės. Jų standis priklauso nuo prijungiamų elementų lenkiamojo standžio.

Plokšti elementai be sąstandų

Efektyvusis plotis apskaičiuojamas taip:

$$b_{eff} = \rho b_p.$$

čia ρ lakšto klupumo koeficientas (skerspjūvio elemento pločio redukavimo koeficientas). Šis koeficientas kai yra vidiniai gniuždomieji elementai apskaičiuojamas taip:

$$\rho = 1,0, \text{ kai } \bar{\lambda}_p \leq 0,673,$$

čia

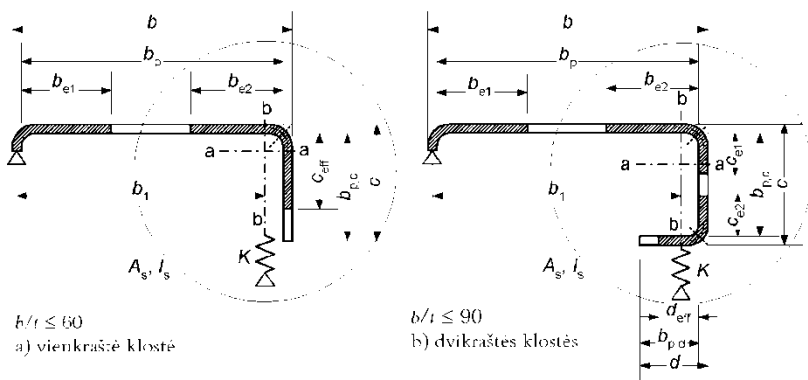
ψ – įtempių koeficientas

k_{σ} – klupumo koeficientas

Šie dydžiai duoti EC3-1-5 4.4 p.

Plokštieji elementai su kraštinėmis sąstandomis

Elementų su kraštinėmis sąstandomis skaičiavimas reikalauja kelių žingsnių procedūros.



5.7 paveikslas. Kraštinės sąstamos

4.1 pav. 5.7 pav. iš EC3-3

Pirmame žingsnyje nustatome efektyviusius plotus (pločius) atskirai kiekvienai daliai, t. y. elemento daliai tarp alkūnės ir tarpinės sąstamos ar dviejų tarpinių sąstamų ar pan. (pagal anksčiau pateiktą 4.1 lent. EC1993-1-5 ir EC1993-15 5.5.3.2 p.). Apskaičiuojami sąstamų efektyvieji skerspjūvio plotai (kai efektyviusius pločius tai paprasčiau)

Antrame žingsnyje remiantis pradiniu efektyviuoju sąstandos skerspjuvio plotu nustatyti iškreipiamojo (deplanacijos) klupumo (sąstandos lenkiamojo klupumo) koeficientą, atsižvelgiant į ištisinio spyruoklinio įtvirčio poveikius, (EC1993-15 5.5.3.2 p);

Gniuždomųjų elementų su kraštinėmis arba tarpinėmis sąstandomis projektavimas turi būti pagrįstas prielaida, kad sąstandos elgsena yra kaip gniuždomojo elemento, turinčio ištisinį dalinį įtvirtį ir spyruoklinį standį, kuris priklauso nuo kraštinių sąlygų ir gretimų plokščiųjų elementų lenkiamojo standžio.

Spyruoklinis sąstandos standis turi būti nustatytas taikant vienetinį ilgį veikiančią vienetinę apkrovą u . Vienetinio ilgio spyruoklinis standis K nustatomas taip:

$$K = u / \delta ,$$

čia u – vienetinė apkrova per visą sąstandos ilgį;

δ – yra sąstandos įlinkis, sukeltas vienetinės apkrovos u .

Iškreipiamojo (deplanacijos) klupumo (lenkiamojo sąstandos klupumo) koeficientas apskaičiuojamas taip:

$$\chi_d = 1,0, \text{ kai } \bar{\lambda}_d \leq 0,65,$$

$$\chi_d = 1,47 - 0,723 \bar{\lambda}_d, \text{ kai } 0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38,$$

$$\chi_d = 0,66 / \bar{\lambda}_d, \text{ kai } \bar{\lambda}_d \geq 1,38,$$

$$\text{čia } \bar{\lambda}_d = \sqrt{f_{yb} / \sigma_{cr,s}} \pi .$$

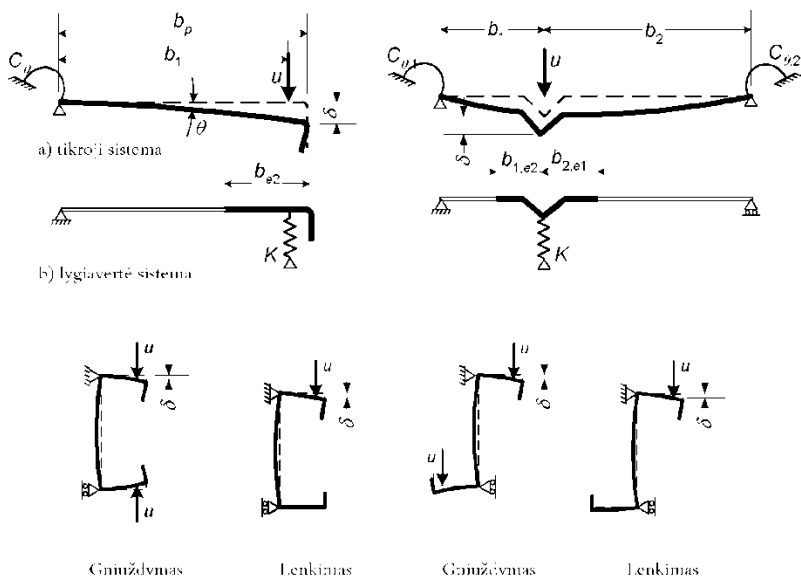
Tamprieji kritiniai kraštinės sąstandos įtempiai apskaičiuojami taip:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\sqrt{K E I_s}}{A_s},$$

čia

K – spyruoklinis standis

I_s – efektyvusis sąstandos skerspjūvio ploto inercijos momentas



c) C ir Z formos skerspjūvių δ reikšmės skaičiavimas

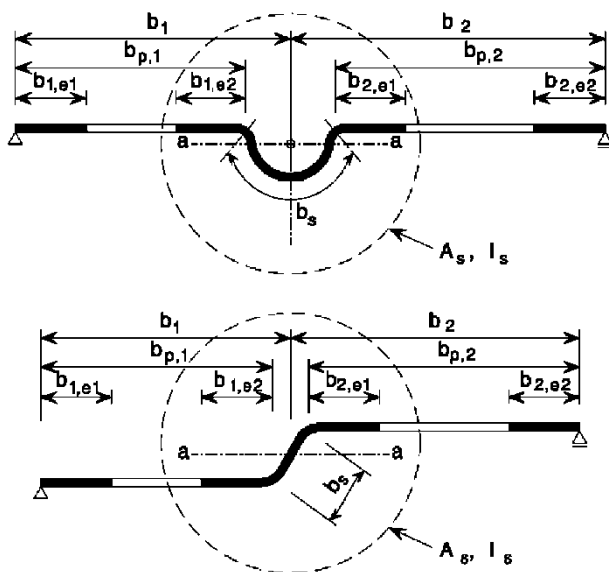
5.6 paveikslas. Spyruoklinio standžio nustatymas

4.2 pav. 5.6 pav. iš EC3-3

Trečiame žingsnyje papildomomis iteracijomis patikslinti sąstandos klupumo koeficiento reikšmę (kai elementas lenkiamas).

Plokštieji elementai su tarpinėmis sąstandomis

Skaičiavimą sudaro trys žingsniai. Jų paskirtis tokia pat kaip ir prieš tai nagrinētu atveju kai plokštieji elementai yra kraštinėmis sąstandomis. Skaičiavimą žr. Ec3-1-3 5.5.3.3 p.



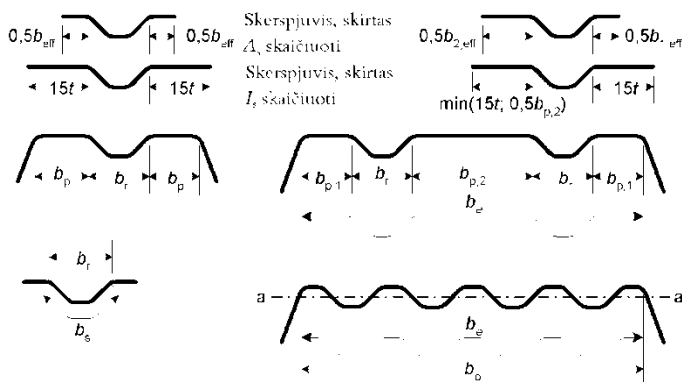
5.9 paveikslas. Tarpinės sąstandos

4.3 pav. 5.9 pav. iš EC3-3

Trapeciniai lakštiniai profiliuočiai su tarpinėmis sąstandomis

Juostos su tarpinėmis sąstandomis

Efektyvusis juostos tarpinės sąstandos plotas apskaičiuojamas pagal pav. Šiame pav. pateikti duomenys naudojami ir sąstandos inercijos momentui skaičiuoti



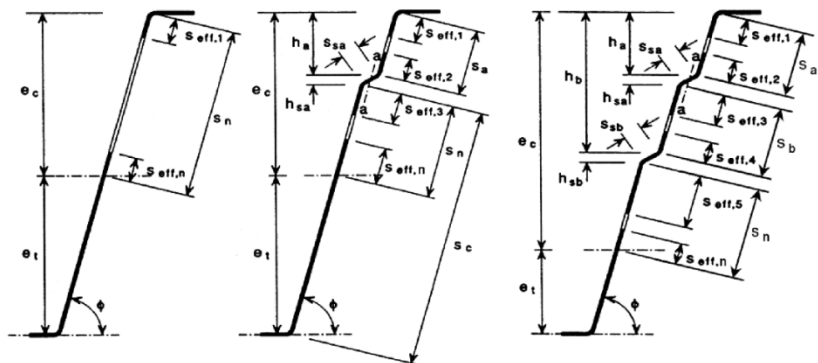
5.11 paveikslas. Gniuždomoji juosta su viena, dviem arba daugiau sąstandų

4.4 pav. 5.11 pav. iš EC3-3

Skaičiavimą žr. Ec3-1-3 5.5.3.4.2 p.

Sienelės su ne daugiau kaip dviem tarpinėmis sąstandomis

Sienelės gniuždomosios srities efektyvusis skerspjūvis yra sudarytas iš ne daugiau kaip dviejų tarpinių sąstandų sumažintojo efektyviojo skerspjūvio ploto.



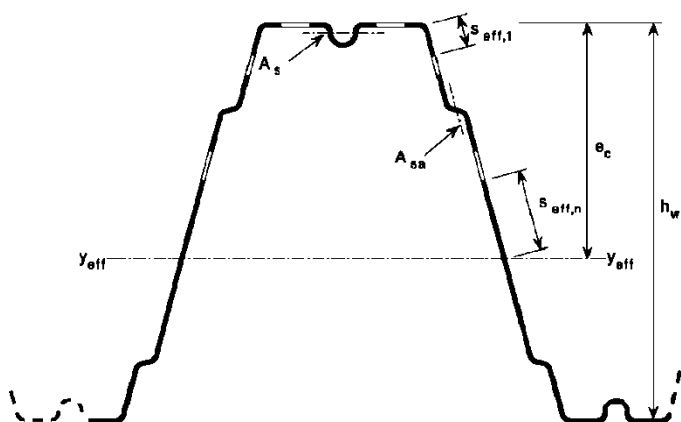
5.12 paveikslas. Efektyvieji trapecinių lakštinių profiliuotųjų sienelių skerspjūviai

4.5 pav. 5.12 pav. iš EC3-3

Skaičiavimą žr. Ec3-1-3 5.5.3.4.3 p.

Profiliuočiai su juostų ir sienelių sąstandomis

Kai lakštiniai profiliuočiai yra su tarpinėmis juostų ir sienelių sąstandomis, į iškreipiamojo klupumo (juostos ir sienelės sąstandų lenkiamojo klupumo) sąveiką turi būti atsižvelgiama abiejų tipų sąstandoms taikant patikslintąją tampriųjų kritinių įtempių $\sigma_{cr,mod}$ reikšmę.



5.14 paveikslas. Trapecinis lakštinis profiliuotis su juostų ir sienelių sąstandomis

4.6 pav. 5.14 pav. iš EC3-3

5. SKERSPJŪVIŲ LAIKOMOJI GALIA

Bendrosios pastabos

Skaiciuojant skerspjūvių laikomąją galią turi būti atsižvelgta į vietinio klumpumo poveikį taikant efektyviojo skerspjūvio rodiklius (žr. vietinį pastovumą) ir elementų klumpamąją galią.

AŠINIS TEMPIMAS

Tolygiai tempiamo elemento galia nustatoma taip:

$$N_{t,Rd} = \frac{f_{ya} A_g}{\gamma_{M0}}, \text{ bet } N_{t,Rd} \leq F_{n,Rd},$$

čia

A_g – bendrasis skerspjūvio plotas;

$F_{n,Rd}$ – grynojo skerspjūvio laikomoji galia pagal atitinkamą mechaninės jungės tipą (varžtai, kniedės, suvirinimas ir t. t.; žr. atitinkamus skyrius);

f_{ya} – vidutinis stipris pagal takumo ribą;

$\gamma_{M0} = 1,0$ – pastatams.

AŠINIS GNIUŽDYMAS

Tolygiai gniuždomo elemento galia nustatoma taip:

a) jei efektyvusis skerspjūvio plotas yra mažesnis už bendrąjį skerspjūvio plotą ($A_{eff} < A_g$):

$$N_{c,Rd} = A_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0} ,$$

b) jei efektyvusis skerspjūvio plotas A_{eff} yra lygus bendrajam skerspjūvio plotui ($A_{eff} = A_g$):

$$N_{c,Rd} = A_g \left(f_{yb} + (f_{ya} - f_{yb}) 4 \left(1 - \frac{\bar{\lambda}_{e,max}}{\bar{\lambda}_{e0}} \right) \right) / \gamma_{M0} , \text{ bet } N_{c,Rd} \leq \frac{f_{ya} A_g}{\gamma_{M0}}$$

čia

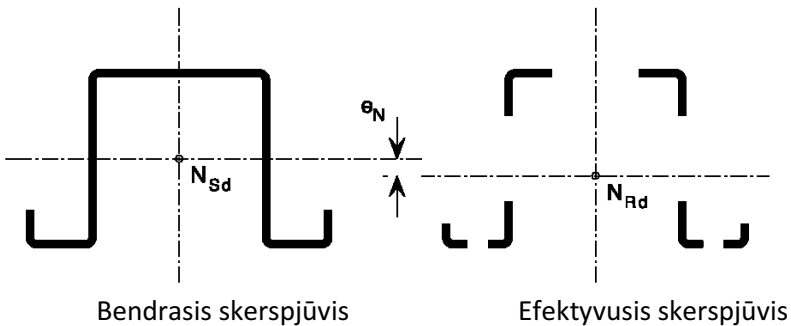
A_{eff} – efektyvusis skerspjūvio plotas, laikant kad gniuždomieji įtempiai pasiskirsto tolygiai per skerspjūvį;

f_{ya} – vidutinis stipris pagal takumo ribą;

f_{yb} – pradinis stipris pagal takumo ribą;

$\bar{\lambda}_{e,max}$, $\bar{\lambda}_{e0}$ – sąlyginis elemento liaunis, žr. 5.5 sk. EC3-1-3.

Jei efektyviojo skerspjūvio ploto sunkio centras nesutampa su bendrojo skerspjūvio sunkio centru turi būti atsižvelgiama į sunkio centro ašių poslinkį e_N (žr. 6.1 pav.), kurio taikymas parodytas prie klumpamosios galios skaičiavimų.



5.1 pav. Gniuždomasis efektyvusis skerspjūvis (pagal EC3-1-3)

LENKIAMASIS MOMENTAS

Tamprioji ir tamprioji plastiškoji laikomoji galia, kai pasireiškia gniuždomosios juostos takumas

Lenkiamo elemento laikomoji galia, kai momentas veikia tik apie vieną skerspjūvio svarbiausių ašių ir elementas nepatiria sukimo arba sukamosios, sukamosios lenkiamosios arba skersinės sukamosios, arba iškreipos klupties, nustatoma taip (žr. 6.2 pav.):

a) jei efektyvusis skerspjūvio atsparumo momentas yra mažesnis už bendrąjį tamprųjų skerspjūvio atsparumo momentą ($W_{eff} < W_{el}$):

$$M_{c,Rd} = W_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0} ,$$

b) jei efektyvusis skerspjūvio atsparumo momentas yra lygus bendrajam tampriajam skerspjūvio atsparumo momentui ($W_{eff} = W_{el}$):

$$M_{c,Rd} = f_{yb} \left(W_{el} + (W_{pl} - W_{el}) 4 \left(1 - \frac{\bar{\lambda}_{e,max}}{\bar{\lambda}_{e0}} \right) \right) / \gamma_{M0} , \text{ bet } M_{c,Rd} \leq \frac{W_{pl} f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

čia

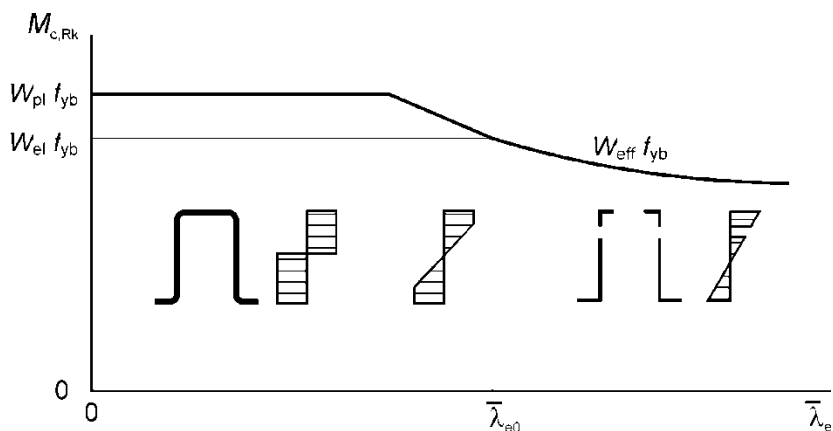
W_{eff} – efektyvusis skerspjūvio atsparumo momentas, apskaičiuojamas taikant efektyvųjį skerspjūvio plotą;

W_{el} – bendrasis tamprusis skerspjūvio atsparumo momentas;

W_{pl} – bendrasis plastinis skerspjūvio atsparumo momentas;

f_{yb} – pradinis stipris pagal takumo ribą;

$\bar{\lambda}_{e,max}$, $\bar{\lambda}_{e0}$ – sąlyginis elemento liaunis, žr. 5.5 sk. EC3-1-3.



5.2 pav. Lenkiamosios galios ir liaunio sąryšis (pagal EC3-1-3)

Dviašio lenkimo atveju stiprumo kriterijus užrašomas taip:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1,$$

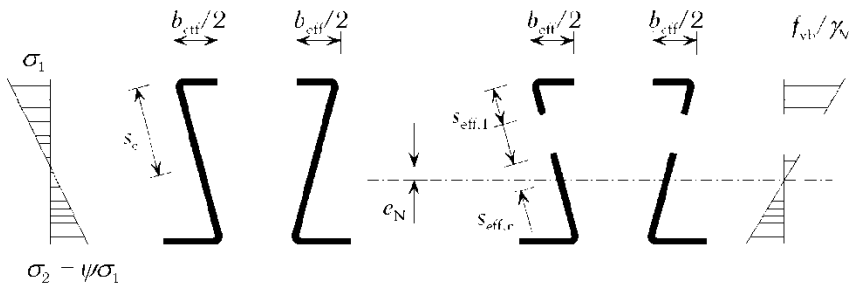
čia

$M_{y,Ed}$ – lenkimo momentas apie svarbiausią skerspjūvio ašį;

$M_{z,Ed}$ – lenkimo momentas apie silpniausią skerspjūvio ašį;

$M_{cy,Rd}$ – skerspjūvio, lenkiamo tik apie svarbiausią y-y ašį, lenkiamoji galia;

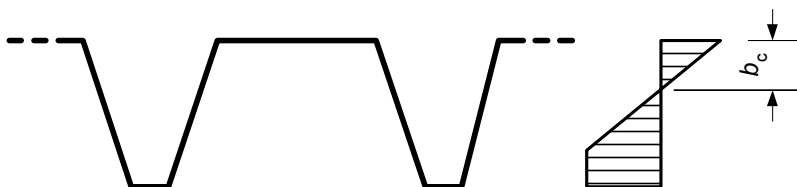
$M_{cz,Rd}$ – skerspjūvio, lenkiamo tik apie svarbiausią z-z ašį, lenkiamoji galia.



5.3 pav. Efektyvusis skerspjūvis lenkiamajai galiai nustatyti (pagal EC3-1-3)

Tamprioji ir tamprioji plastiškoji laikomoji galia, kai takumas pasireiškia tik tempiamojoje juostoje

Lenkiant tik apie vieną svarbiausią ašį ir kai takumas pasireiškia pirmiausia tempiamajame krašte, plastinė tempiamos srities laikomoji galia gali būti išnaudota visai neribojant plastinių deformacijų iki gniuždomieji įtempiai pasiekia f_{yb} / γ_{M0} . Šiuo atveju efektyvusis iš dalies plastiškas atsparumo momentas $W_{pp,eff}$ turi būti skaičiuojamas remiantis įtempių pasiskirstymu, kuris tempiamosios srities yra dvitiesis, o gniuždomosios – tiesinis.



5.4 pav. Dydis b_c , skirtas efektyviajam pločiui nustatyti (pagal EC3-1-3)

Atsiknojimo dėl šlyties poveikis

Atsiknojimo dėl šlyties (Shear lag) efekto skaičiavimas žr. 1993-1-5, 3 sk.

SKERSINĖ JĖGA

Skaičiuotinė šlyjamoji galia apskaičiuojama taip:

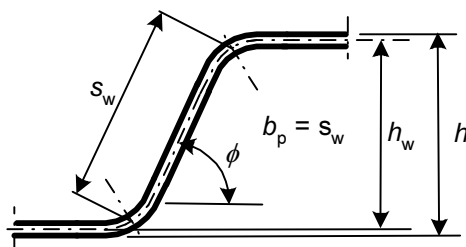
$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} t f_{bv}}{\gamma_{M0}},$$

čia

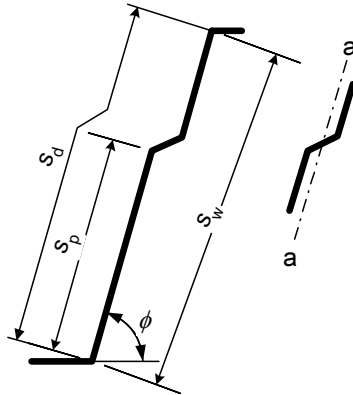
f_{bv} – šlyjamoji galia, atsižvelgiant į klupumą pagal EC3-1-3 6.1 lentelę;

h_w – sienelės aukštis tarp juostų vidurinių linijų, žr. 5.5 pav.;

ϕ – sienelės nuolydis juostų atžvilgiu, žr. 6.5 paveikslą.



5.5 pav. Tariamasis sienelės plokščiasis plotis b_p (b_p = nuožulnumo ilgis s_w)
(5.1 (c) pav. EC3-1-3)



5.6 pav. Sienelė su išilginėmis sąstandomis (pagal EC3-1-3)

Sąlyginis sienelės liaunis apskaičiuojamas taip:

- sienelių be išilginių sąstandų:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}},$$

- sienelių su išilginėmis sąstandomis:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_d}{t} \sqrt{\frac{5,34}{k_{\tau\tau}} \frac{f_{yb}}{E}}, \text{ bet } \bar{\lambda}_w \geq 0,346 \frac{s_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}},$$

čia:

$$k_{\tau} = 5,34 + \frac{2,10}{t} \left(\frac{\Sigma I_s}{s_d} \right)^{1/3},$$

čia:

I_s – atskiros išilginės sąstandos skerspjūvio ploto inercijos momentas apie 6.5 pav. parodytą $a-a$ ašį;

s_d – bendrasis išsklotinis sienelės nuožulnumos aukštis, parodytas 6.5 pav.;

s_p – didžiausiojo plokščiojo sienelės elemento nuožulnumos aukštis, žr. 6.5 pav.;

s_w – sienelės nuožulnumos aukštis tarp kampų vidurinių taškų parodytą 6.5 pav.

SUKAMASIS MOMENTAS

Į sąsūkos poveikius turi būti atsižvelgta kai apkrovos veikia ne skerspjuvio šlyties centre.

Skaičiuojant įtempius ašinių jėgų ir lenkimo momento sukelti įtempiai turi būti skaičiuojami naudojant efektyviojo skerspjuvio rodiklius, skersinių jėgų, sukimo ir persimetimo (warping) sukelti tiesioginiai ir šlyjamieji įtempiai turi būti skaičiuojami naudojant bendrojo skerspjuvio rodiklius.

Sukamieji skerspjuviai turi tenkinti sąlygas:

$$\sigma_{tot,Ed} \leq f_{ya} / \gamma_{M0},$$

$$\tau_{tot,Ed} \leq \frac{f_{ya} / 3}{\gamma_{M0}},$$

$$\sqrt{\sigma_{tot,Ed}^2 + 3 \tau_{tot,Ed}^2} \leq 1,1 \frac{f_{ya}}{\gamma_{M0}},$$

čia

$\sigma_{tot,Ed}$ – apskaičiuotieji atitinkamo efektyviojo skerspjuvio skaičiuotiniai suminiai normaliniai įtempiai;

$\tau_{tot,Ed}$ – apskaičiuotieji bendrojo skerspjuvio skaičiuotiniai suminiai šlyjamieji įtempiai.

Suminiai normaliniai ir šlyjamieji įtempiai apskaičiuojami taip:

$$\sigma_{tot,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{My,Ed} + \sigma_{Mz,Ed} + \sigma_{w,Ed} ,$$

$$\tau_{tot,Ed} = \tau_{Vy,Ed} + \tau_{Vz,Ed} + \tau_{t,Ed} + \tau_{w,Ed} ,$$

čia

$\sigma_{N,Ed}$ – ašinės jėgos sukelti skaičiuotiniai normaliniai įtempiai (vartojant efektyvųjį skerspjūvį);

$\sigma_{My,Ed}$, $\sigma_{Mz,Ed}$ – lenkiamųjų momentų sukelti skaičiuotiniai normaliniai įtempiai (vartojant efektyvųjį skerspjūvį);

$\sigma_{w,Ed}$ – persimetimo sukelti skaičiuotiniai normaliniai įtempiai (vartojant bendrąjį skerspjūvį);

$\tau_{Vy,Ed}$, $\tau_{Vz,Ed}$ – skersinių jėgų sukelti skaičiuotiniai šlyjamieji įtempiai (vartojant bendrąjį skerspjūvį);

$\tau_{t,Ed}$ – tolygaus (Sen Venano) sukimo sukelti skaičiuotiniai šlyjamieji įtempiai (vartojant bendrąjį skerspjūvį);

$\tau_{w,Ed}$ – persimetimo sukelti skaičiuotiniai šlyjamieji įtempiai (vartojant bendrąjį skerspjūvį).

VIETINĖS SKERSINĖS JĖGOS

Norint išvengti atraminės reakcijos ar kitos per juostą veikiančios vietinės skersinės jėgos veikiamos sienelės suspaudimo, deformavimo arba suklupdymo, skersinė jėga turi tenkinti sąlygą:

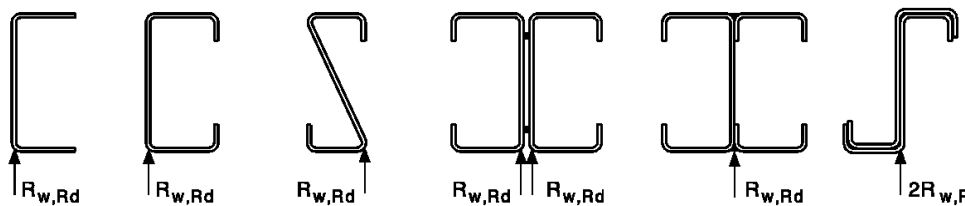
$$F_{Ed} \leq R_{w,Rd} ,$$

čia

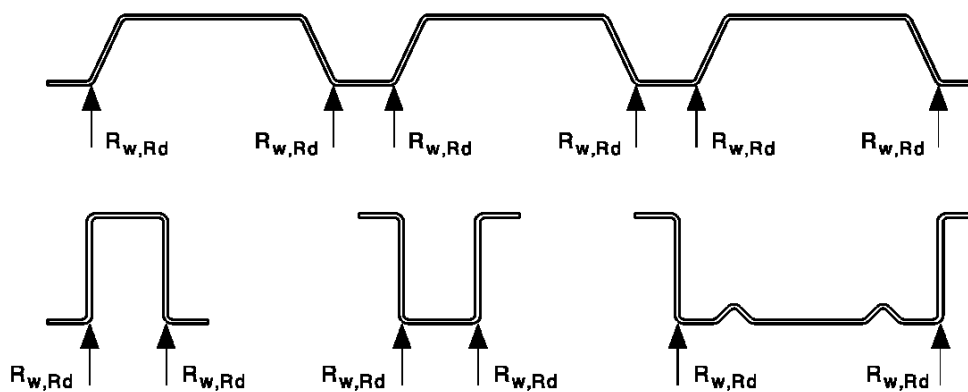
F_{Ed} – vietinė skersinė jėga,

$R_{w,Rd}$ – vietinės skersinės jėgos veikiamos sienelės laikomoji galia.

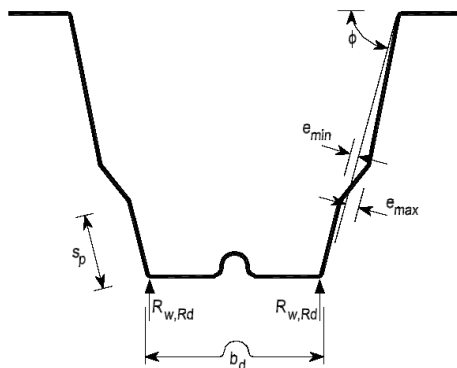
EC3-1-3 6.1.7 dalyje pateikia skaičiavimą kai yra nestandintieji skerspjūviai (6.6 ir 6.8 pav.) ir standintieji skerspjūviai (6.10 pav.)



5.7 pav. Viensienių skerspjūvių pavyzdžiai (6.6 pav. EC3-1-3)



5.8 pav. Dvisienių ir daugiasienių skerspjūvių su nestandintosiomis sienelėmis pavyzdžiai (6.8 pav. EC3-1-3)



5.9 pav. Standintosios sienelės (6.10 pav. EC3-1-3)

TEMPIMAS IR LENKIMAS KARTU

Skerspjūviai, kuriuos veikia kartu tempimas ir lenkimas turi tenkinti šias sąlygas:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \leq 1,$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,$$

čia

$N_{t,Rd}$ – skaičiuotinė skerspjūvio tolygioji tempiamoji galia,

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cy,Rd,com}$ – skaičiuotinė skerspjūvio, lenkiama tik apie y-y ašį, lenkiamoji galia, nustatyta pagal didžiausiuosius tempiamuosius ir gniuždomuosius įtempimus,

$M_{cz,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,com}$ – skaičiuotinė skerspjūvio, lenkiamo tik apie atitinkamai z-z ašį, lenkiamoji galia, nustatyta pagal didžiausiuosius tempiamuosius ir gniuždomuosius įtempius.

GNIUŽDYMAS IR LENKIMAS KARTU

Skerspjūviai, kuriuos veikia kartu gniuždymas ir lenkimas turi tenkinti šias sąlygas:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \leq 1,$$

$$\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,$$

čia papildomieji momentai atsirandantys dėl sunkio centro ašių poslinkio apskaičiuojami taip:

$$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed} e_{Ny},$$

$$\Delta M_{z,Ed} = N_{Ed} e_{Nz},$$

čia e_{Ny} ir e_{Nz} yra sunkio centro ašių y-y ir z-z poslinkis dėl ašinių jėgų, o kiti pažymėjimai aptarti prieš tai buvusiame skyrelyje.

KITI ATVEJAI

Kiti atvejai skerspjūvio laikomosios galios tikrinimo atvejai (ašinė jėga, skersinė jėga ir lenkimo momentas kartu, lenkimo momentas, atraminė reakcija arba vietinė apkrova kartu) aptarti EC3-1-3.

6. KLUMPAMOJI GALIA

AŠINIS GNIUŽDYMAS

EC3-1-3 šis skyrius pavadintas „Lenkiamasis klupumas“ kalbama apie vieną iš klupumo atvejų. Šis klupumo atvejis sutinkamas ir veikiant gniuždymo ašinei jėgai. Lenkiamoji klumpamoji galia $N_{b,Rd}$ apskaičiuojama pagal EC3-1-1 dalį. Čia trumpai tai priminsime, kadangi jūs nestudijavote skaičiavimo pagal eurokodus.

Gniuždomasis elementas pagal klupumą turi būti patikrintas taip, kad skaičiuotinė gniuždomos ašinės jėgos (įrašos) N_{Ed} reikšmė turi atitikti nelygybę:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0.$$

Skaičiuotinė gniuždomojo elemento klumpamoji galia (ašinė klumpamoji galia) $N_{b,Rd}$ priklausomai nuo skerspjūvio klasės skaičiuojama taip:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}, \text{ 1, 2 ir 3 klasės skerspjūviams,}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}, \text{ 4 klasės simetriniams skerspjūviams,}$$

čia χ – klupumo koeficientas.

Klupumo koeficientas χ skaičiuojamas taip:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}, \text{ bet } \chi \leq 1,0,$$

čia:

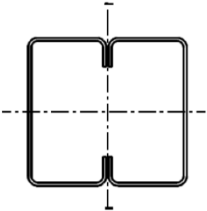
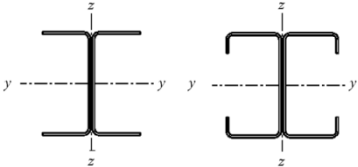

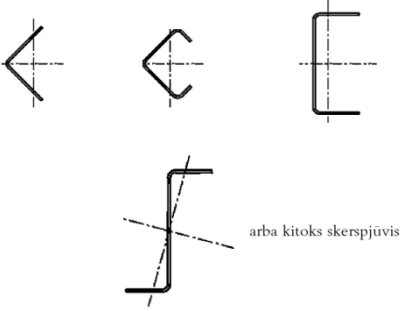
$$\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right],$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}, \text{ 1, 2 ir 3 klasės skerspjūviams,}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}}, \text{ 4 klasės skerspjūviams,}$$

čia α nuokrypos koeficientas nustatomas pagal klupumo kreives, o N_{cr} – atitinkamos klupumo formos tamprioji kritinė jėga.

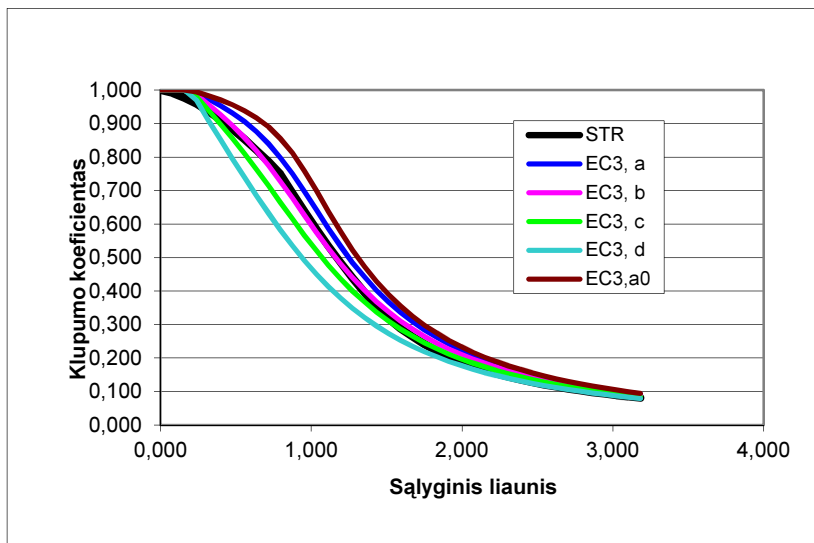
Klumpumo kreivės priimamos jau pagal EC3-1-3, 6.3 lentelę.

Skerspjūvio tipas		Klumpumas apie ašį	Klumpumo kreivė
	jei taikomas f_{yb}	bet kurią	b
	jei taikomas $f_{ys}^{*)}$	bet kurią	c
		$y-y$	a
		$z-z$	b
		bet kurią	b
		bet kurią	c

^{*)} Vidutinis stipris pagal takumo ribą f_{ys} neturi būti taikomas, nebent $A_{eff} = A_g$.

6.1 pav. Įvairius skerspjūvių tipus atitinkančios klumpumo kreivės (6.3 lentelė. EC3-1-3)

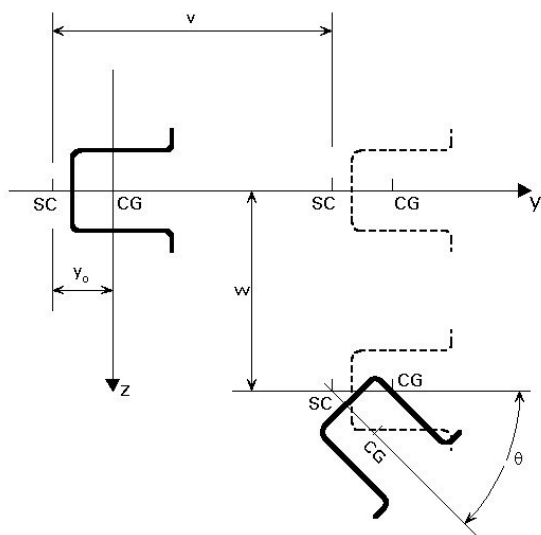
EC3-1-1 numatytos penkios klupumo kreivės, kurios parodytos pav. ir žymimos a_0 , a , b , c ir d . Šiame paveiksle palyginimui pateikta ir centriškai gniuždomo elemento klupumo kreivė, gauta pagal plieninių konstrukcijų skaičiavimo techninį reglamentą (STR).



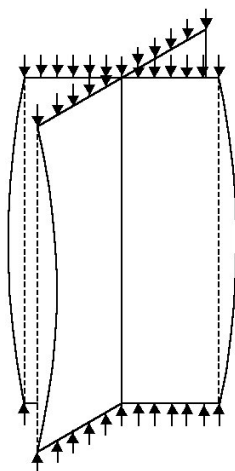
6.2 pav. Klupumo kreivės

Pagal klupumo kreivę priimamos nuokrypų koeficiento reikšmės. Jos pateiktos EC3-1-3 pateiktos 6.1 lentelėje (EC3-1-3).

Lenkiamasis klumpas, sukamasis klumpas ir sukamasis lenkiamasis klumpas



6.3 pav. Elemento klumpumo atvejai



6.4 pav. Sukamojo klumpumo atvejis

Lenkiamojo klumpumo sąlyginis liaunis apskaičiuojamas taip:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1}, \text{ 1, 2 ir 3 klasės skerspjūviams,}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{\sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\lambda_1}, \text{ 4 klasės skerspjūviams,}$$

čia:

L_{cr} – klumpamasis ilgis nagrinėjamoje plokštumoje; i – inercijos momento spindulys aplink atitinkamą ašį, nustatytas pagal bendrojo skerspjūvio plotą;

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon, \text{ kur } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}, \text{ čia } f_y \text{ dimensija yra MPa.}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} - \text{Eulerio kritinė jėga.}$$

Sukamojo ir sukamojo lenkiamojo klupumo sąlyginis liaunis.

Jei elementai yra atviro skerspjūvio, turi būti atsižvelgiama į galimybę, kad elemento sukamoji arba sukamoji-lenkiamoji klumpamoji galia gali būti mažesnė už jo lenkiamąją klumpamąją galią (plačiau EC3-1-1,3).

Sukamojo ir sukamojo-lenkiamojo klupumo sąlyginis liaunis $\bar{\lambda}$ turi būti apskaičiuojamas taip:

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}, \text{ jei skerspjūviai 1, 2 arba 3 klasės;}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}}, \text{ jei skerspjūviai 4 klasės,}$$

čia:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} \text{ (buvo jau parodyta)}$$

$$N_{cr} \leq N_{cr,TF},$$

$$N_{cr} \leq N_{cr,T},$$

$N_{cr,TF}$ – tampriojo sukamojo-lenkiamojo klupumo kritinė jėga;

$N_{cr,T}$ – tampriojo sukamojo klumpumo kritinė jėga.

$N_{cr,TF}$, $N_{cr,T}$ kritinės jėgos apskaičiuojamos pagal formules duodamas literatūroje. Kai kurie jų apskaičiavimo atvejai duoti EC3-1-3.

Pavyzdžiui, tamprioji kritinė sukamosios klumpamosios elgsenos jėga $N_{cr,T}$ turi būti nustatyta taip:

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_o^2} \left(G I_t + \frac{\pi^2 E I_w}{l_T^2} \right),$$

čia:

$$i_o^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_o^2 + z_o^2,$$

čia:

G – šlyties modulis;

I_t – bendrojo skerspjūvio sukimo konstanta;

I_w – bendrojo skerspjūvio persimetimo konstanta;

i_y – bendrojo skerspjūvio inercijos spindulys apie y-y ašį;

i_z – bendrojo skerspjūvio inercijos spindulys apie z-z ašį;

l_T – klumpamasis sukamosios klumpamosios elgsenos profiliuotio ilgis;

y_o, z_o – šlyties centro koordinatės bendrojo skerspjūvio sunkio centro atžvilgiu.

Pavyzdžiui, tamprioji kritinė sukamosios lenkiamosios klumpamosios elgsenos simetriškų y-y ašiai skerspjūvių (pvz., $z_o = 0$) tamprioji kritinė jėga $N_{cr,TF}$ turi būti nustatyta taip:

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y}}{2\beta} \left[1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}\right)^2 + 4 \left(\frac{y_o}{i_o}\right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}} \right],$$

čia:

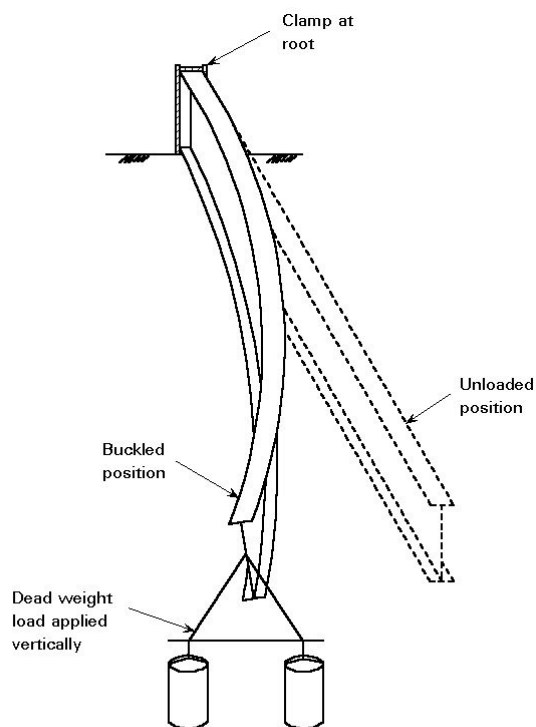
$$\beta = 1 - \left(\frac{y_o}{i_o}\right)^2.$$

Sukamosios arba sukamosios lenkiamosios klupties atveju klumpamasis ilgis l_T turi būti nustatytas atsižvelgiant į sukamojo ir deformacinio įtvirčių abiejuose sistemos ilgio L_T galuose laipsnį (pvz. žr. 6.13 pav. EC3-1-3).

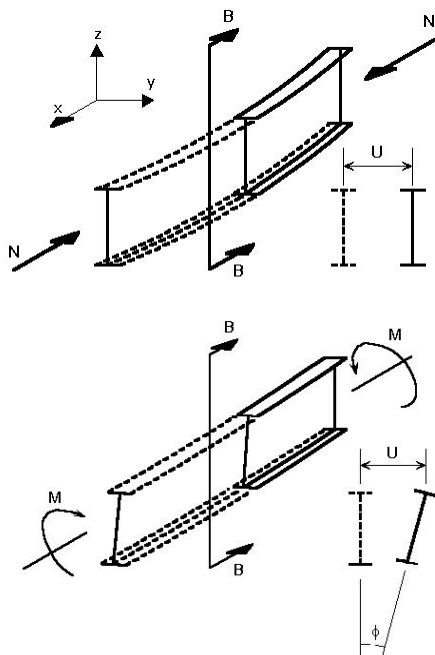
Elementai su nesimetriniais ketvirtos klasės skerspjūviais turi būti skaičiuojami kaip gniuždomieji lenkiamieji elementai vertinant papildomą momentą ΔM_{Ed} , atsirandantį dėl neutraliosios ašies persislinkimo pereinant nuo bendrojo skerspjūvio ploto prie efektyviojo skerspjūvio ploto.

LENKIMO VEIKIAMAI ELEMENTAI

Lenkiami elementai neturintys šoninio įtvirčio gali išklupti (žr. paveikslus) ir todėl jie turi būti patikrinti ar gali išlaikyti skersinį sukamąjį klumpdymą.



6.5 pav. Gėbinės sijos veikiamos vertikalios jėgos skersinis sukamasis klupumas



6.6 pav. Gniuždomo ir lenkiamo elementų klupumo atvejų palyginimas

Šoninio įtvirčio neturintis ir aplink pagrindinę ašį lenkimo veikiamas elementas turi būti patikrinamas ar gali išlaikyti skersinį sukamąjį klupdymą:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0,$$

čia:

M_{Ed} – skaičiuotinė momento reikšmė;

$M_{b,Rd}$ – skaičiuotinė lenkiamosios klupumo galios reikšmė.

Sijos skaičiuotinė lenkiamoji klupumo galia turi būti apskaičiuojama taip:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}},$$

čia:

W_y – atitinkamas skerspjūvio atsparumo momentas:

- $W_y = W_{pl,y}$ jei skerspjūviai 1 arba 2 klasės;
- $W_y = W_{el,y}$ jei skerspjūviai 3 klasės;
- $W_y = W_{eff,y}$ jei skerspjūviai 4 klasės;

χ_{LT} – skersinio sukamojo klupumo koeficientas.

Skersinio sukamojo klupumo atveju klupumo koeficientas apskaičiuojamas taip:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \text{ bet } \chi_{LT} \leq 1,0;$$

čia:

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right],$$

α_{LT} – nuokrypos koeficientas,

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

Koeficiento reikšmės imamos pagal atitinkamas skersinio sukamojo klupumo kreives iš 6.3 lent. (EC3-1-1)

6.3 lentelė. Rekomenduojamosios nuokrypos koeficientų reikšmės pagal atitinkamas skersinio-sukamojo klupumo kreives

Klupumo kreivė	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Nuokrypos koeficientas α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Skersiniam sukamajam klupumui jautraus plonasio profilio skaičiuotinė lenkiamoji klumpamoji galia turi būti nustatyta imant klupumo kreivę *b*.

M_{cr} grindžiamas bendrojo skerspjuvio savybėmis ir juo atsižvelgiama į apkrovos sąlygas, tikrąjį momentų pasiskirstymą ir šoninius įtvirčius. Išraiškas M_{cr} apskaičiuoti galima rasti literatūroje.

Supaprastintas metodas kai kuriems skerspjuviams skersinę sukamąją laikomąją galią nustatyti yra pateikta EC3-1-3.

Lenkimo ir ašinio gniuždymo veikiami elementai

Elementų, lenkiamų dviejose plokštumose ar vienoje plokštumoje ir gniuždomų ašinės jėgos, elgsena yra labai sudėtinga. Pirmos eilės lenkimo momentus elemente sukelia skersinis lenkimas ir elemento galuose veikiantys momentai. Ašinis gniuždymas sukelia ne tik ašinę jėgą, bet ir antros eilės momentus apie svarbiausias ašis ($P - \delta$ efektas). Taip pat atsiranda papildomų momentų dėl šoninio elemento galų persislinkimo ($P - \Delta$ efektas).

Elementai, kuriuos drauge veikia lenkimas ir ašinis gniuždymas, turi atitikti šias sąlygas:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1,$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1,$$

čia:

$N_{Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ – skaičiuotinės gniuždomosios jėgos ir didžiausiųjų momentų atitinkamai aplink y-y ir z-z ašis išilgai elemento reikšmės,
 $\Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed}$ – momentai, susidarantys dėl sunkio centro ašies poslinkio nuostatas 4 klasės skerspjūviams,

χ_y ir χ_z – lenkiamojo klupumo koeficientai pagal,

χ_{LT} – skersinio sukamojo klupumo koeficientas,

$k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$ – sąveikos koeficientai.

Sąveikos koeficientai $k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$ priklauso nuo pasirinkto metodo. Šių koeficientų reikšmės galima gauti iš EC-1-1 A priedo (1-asis alternatyvusis metodas) arba iš B priedo (2-asis alternatyvusis metodas).

Lankstytiems profiliams galima taikyti ir tokią apytikrę formulę:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \right)^{0,8} \leq 1,0,$$

čia

$N_{b,Rd}$ skaičiuotinė klumpamoji gniuždomojo elemento galia (lenkiamojo, sukamojo arba sukamojo lenkiamojo klupumo atvejais), $M_{b,Rd}$ yra skaičiuotinė lenkiamoji galia.

7. TINKAMUMO RIBINIAI BŪVIAI

Poslinkiai turi būti skaičiuojami taikant efektyviojo skerspjūvio rodiklius.

Įlinkiai gali būti skaičiuojami tariant, kad yra tamprioji būsena.

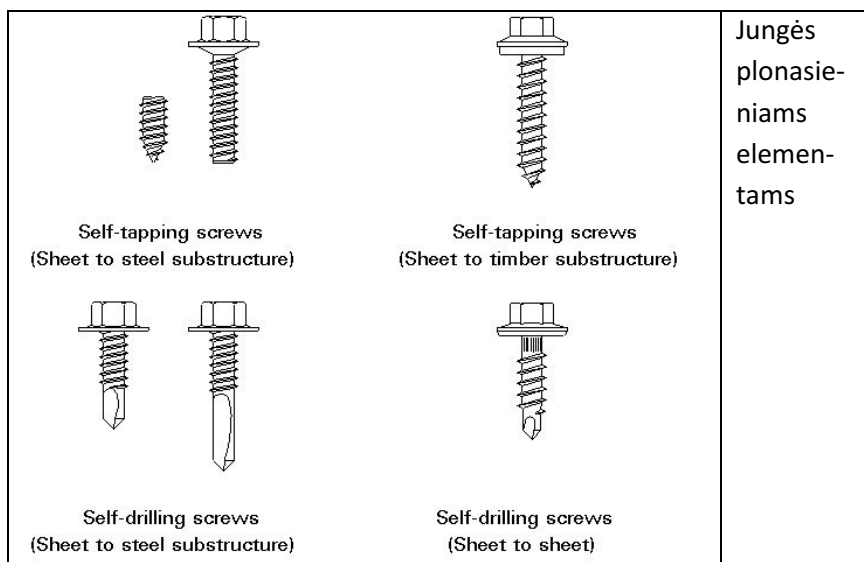
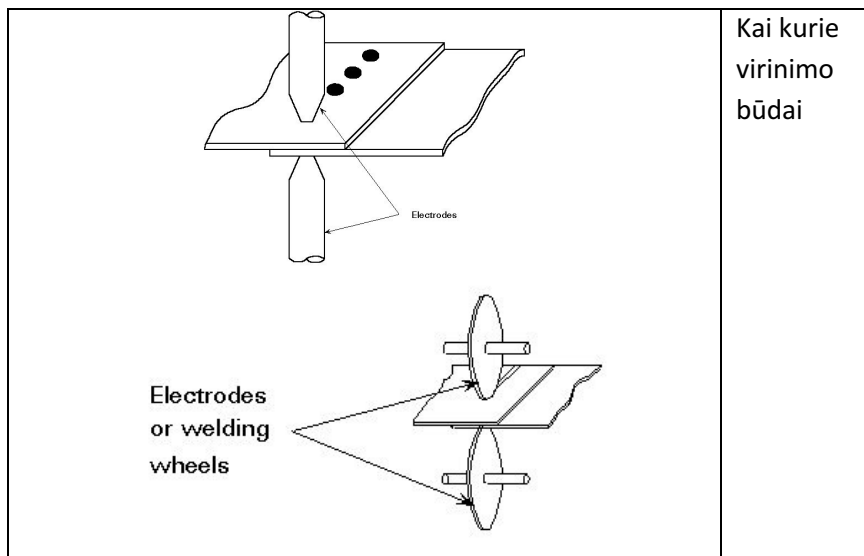
8. JUNGČIŲ PROJEKTAVIMAS

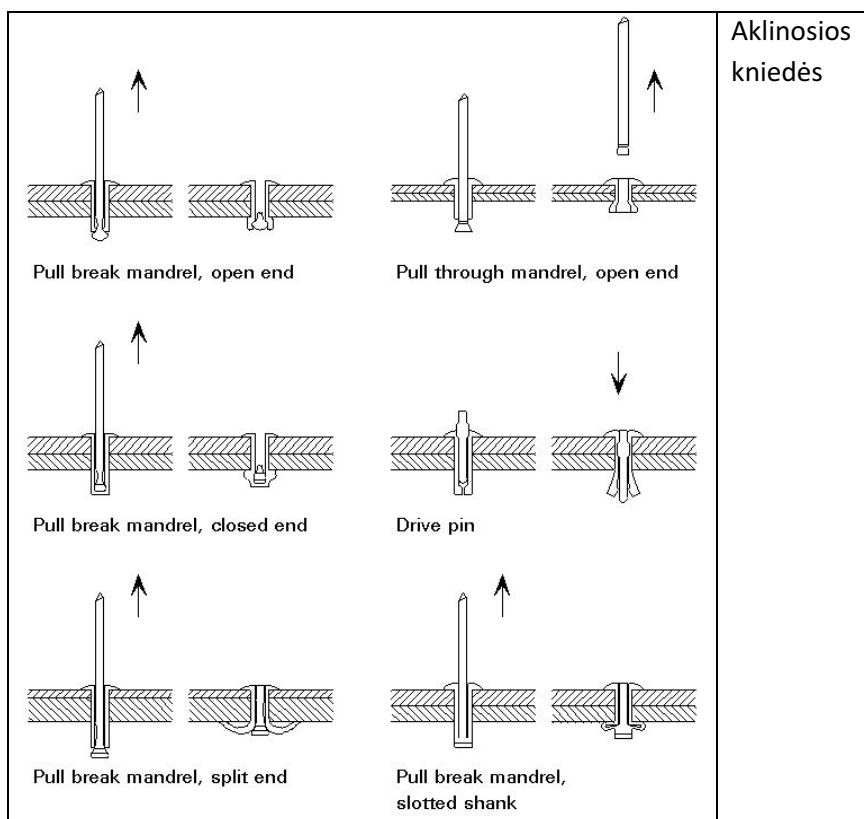
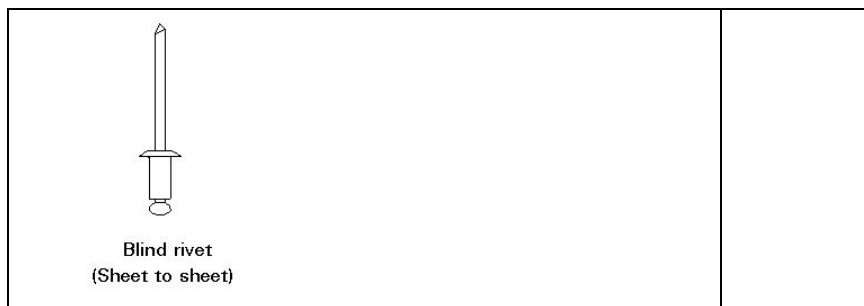
Bendrieji mazgų projektavimo principai ir skaičiavimo metodai pateikti [LST EN 1993-1-8]. Mazgų iš plonasienių skerspjūvių projektavimo specifi­ka pateikiama [LST EN 1993-1-3]. Šią metodiką visada reikia taikyti kai jungiamų elementų ar atskirų jų dalių storis $t \leq 4$ mm .

Mazgai gali būti projektuojami naudojant:

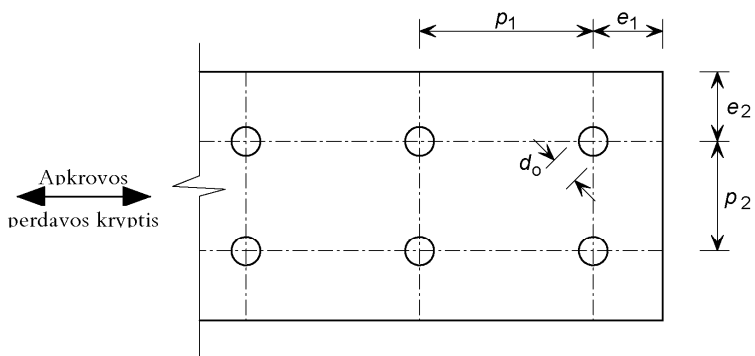
- Naudojant suvirinimą:
 - Vientisosios siūlės
 - Taškinės siūlės
- Naudojant junges:
 - Varžtai
 - Savisriegiai sraigčiai
 - Kniedės
 - Smeigės
- Kiti būdai (klijavimas ir t. t.)

Jei naudojamos jungės ar virintinės taškinės siūlės yra nustatomi maksimalūs ir minimalūs atstumai tarp jungių ar virintinių siūlių taškų (8.1 pav. [LST EN 1993-1-3]). Kniedžių, savisriegių sraigtų, smeigių, varžtų laikomosios galios duodamod 8.1–4 lent. [LST EN 1993-1-3]. Taškinio suvirinimo 8.5 lent. [LST EN 1993-1-3].





8.1 pav. Plonasienių elementų jungčių medžiagos ir būdai



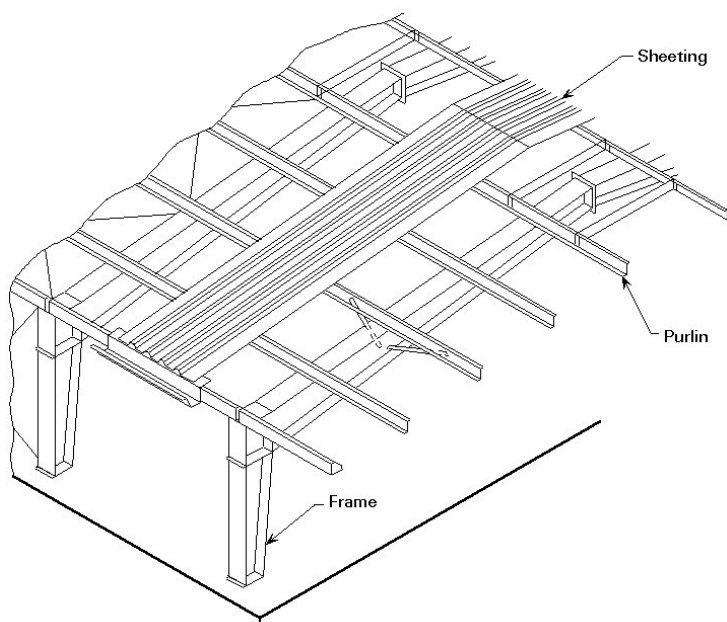
8.1 paveikslas. Jungių ir taškinių virintinių siūlių atstumai iki galo, iki krašto ir tarp jų

8.2 pav. 8.1 pav. iš EC3-3

9. STOGO ILGINIAI

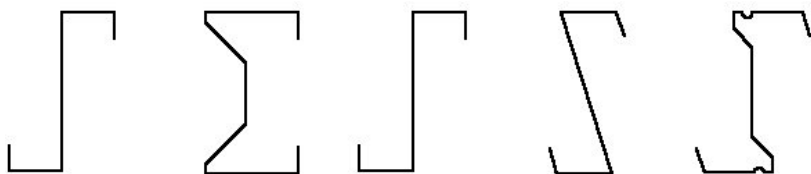
Bendrieji duomenys apie ilginius

Stogo ilginiai yra viena iš laikančių stogo konstrukcijos elementų (žr. pav.)



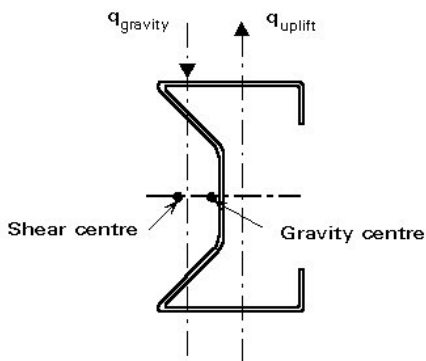
9.1 pav. Stogo konstrukcijos pavyzdys

Ilginiai yra lenkiami elementai ir jų skerspjūviai yra tokie pat kaip lenkiamų elementų. Ilginiams dažniausiai taikomi skerspjūviai parodyti pav.



9.2 pav. Kai kurie ilginių skerspjūviai

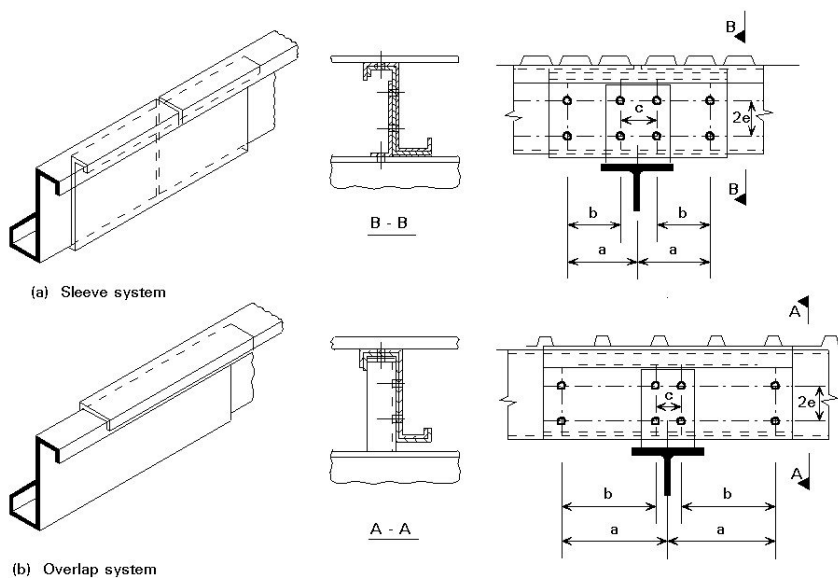
Apkrova turi būti pridėta kaip galima arčiau šlyties centro.
Toks galėtų būti sigma skerspjūvis (žr. pav.)



9.3 pav. Ilginio sigma skerspjūvis

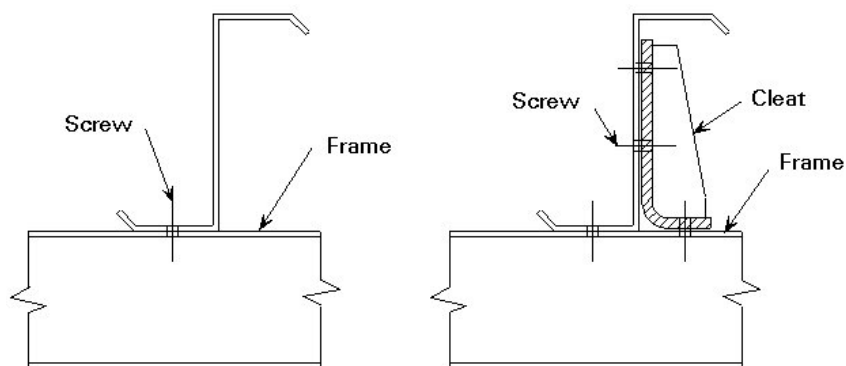
Priklausomai nuo atrėmimo sąlygų ilginiai gali būti vieno tarpatramio arba kelių tarpatramių. Kelių tarpatramių (vientisųjų) ilginių jungtims naudojamos movinės (sleeve sistem) arba užleistinės (overlap system) jungtys (žr. pav.). Taikant movinę jungtį du ilginiai tarpusavyje sujungiami trumpa mova (jungiamuoju elementu) suglaudžiant abiejų ilginių galus. Taikant užleistinę jungtį vieno ilginio galas užde-

damas ant kito ilginio galo ir taip abiejų ilginių sienelės prisiglaudžia viena prie kitos.



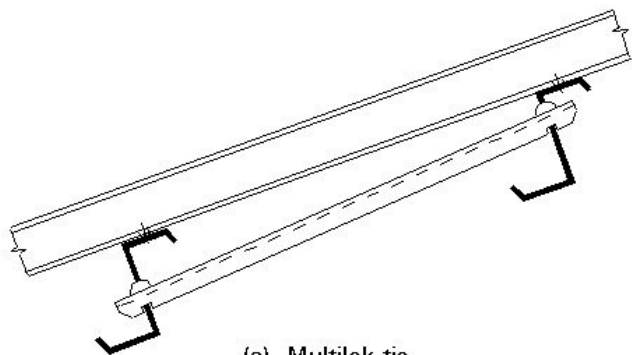
9.4 pav. Vientisųjų ilginių jungtys

Ilginiai prie rėmų ar santvarų dažniausiai tvirtinami tiesiogiai jungėmis. Taip pat ilginiai gali būti tvirtinami ir per tarpinį elementą (žr. pav.)

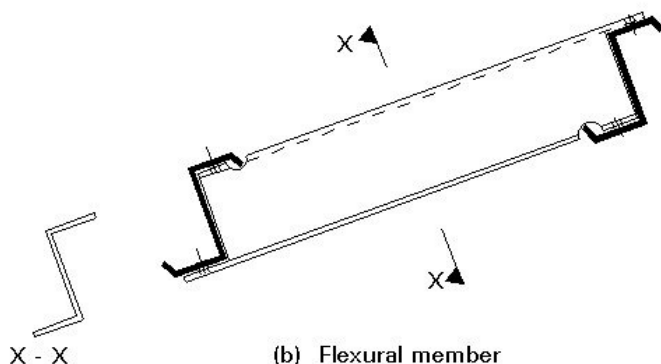


9.5 pav. Ilginių tvirtinimas

Ilginiai gali netekti pastovumo nuo skersinio sukamojo pastovumo netekimo. Kad išvengti skersinio sukamojo pastovumo netekimo ilginiai gali būti tarpusavyje sujungti stygomis (tie) arba lanksčiais elementais (žr. pav.). Dažniausiai naudojamos stygos, kurios stabilizuoja laisvą juostą. Styga dirba tik tempimui. Lankstieji elementai neleidžia ilginiui susisukti. Atlaiko ir tempimo ir gniuždymo jėgas.



(a) Multilok tie



9.6 pav. Skersinio sukamojo pastovumo prevencija

Ilginių skaičiavimas

Eurokode atskirai aptariamas vieno ir dviejų tarpatramių ilginių skaičiavimas.

Ilginių skaičiavimas priklauso nuo apkrovos pobūdžio ir tarpatramių skaičiaus.

Vieno tarpatramio ilginiai veikiami:

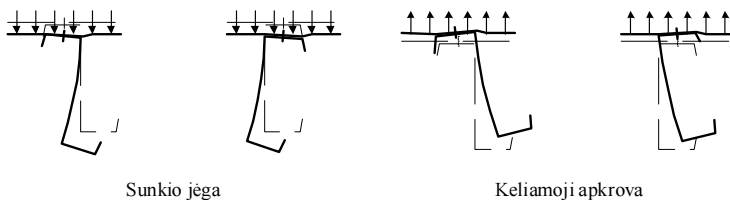
- sunkio jėgos (t. y. nuo apkrovų, kurios nukreiptos sunkio jėgos veikimo kryptimi) turi tenkinti skerspjuvio laikomosios galios kriterijus ir jei yra gniuždymas laisvosios juostos pastovumo kriterijus;
- keliamosios apkrovos (pvz. vėjo keliamosios apkrovos) veikiami ilginiai turi tenkinti skerspjuvio laikomosios galios kriterijus ir jei yra gniuždymas laisvosios juostos pastovumo kriterijus.

Dviejų tarpatramių ilginiai:

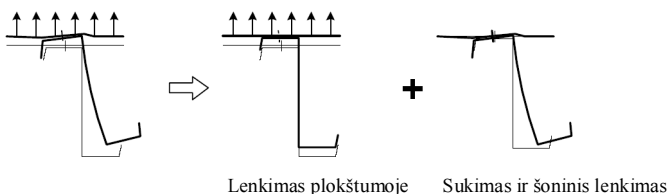
- lenkiamieji momentai nekarpytame ilginyje gali būti apskaičiuojami arba gaunami iš bandymų rezultatų;
- lenkiamieji momentai skaičiuojami taikant visuminę tempriąją analizę
- veikiami sunkio jėgos turi tenkinti skerspjūvio laikomosios galios kriterijus ir gniuždymas laisvosios juostos pastovumo kriterijus; taip pat ties viduriniąją atrama turi būti patikrintas bendras lenkiamojo momento ir atraminės reakcijos poveikis bei lenkiamojo momento ir skersinės jėgos poveikis;
- veikiami keliamosios apkrovos ilginiai turi tenkinti skerspjūvio laikomosios galios kriterijus ir gniuždymas laisvosios juostos pastovumo kriterijus; bendras lenkimo momento ir skersinės jėgos poveikis; į bendrą lenkimo momento ir reakcijos poveikį atsižvelgti nereikia, kadangi reakcija šiuo atveju yra tempiamoji jėga.

Stogo konstrukcijose ant šaltai lankstytų plonasienių ilginių tvirtinami lakštiniai profiliuočiai, kurie ilginiui suteikia standumo. Toks skaičiavimas vadinamas lakštiniais profiliuočiais suvaržytu ilginių skaičiavimu. Toks skaičiavimas pagal EC3 yra taikytinas Z , C , Σ , U ir Ω skerspjūvių ilginiams.

Dėl lakštinio profiliuočio skersinį įtvirtį turinčio ilginio elgsena modeliuojama, kaip parodyta 10.1 pav. Gali būti tariama, kad ilginio jungtis su lakštiniu profiliuočiu iš dalies suvaržo ilginį nuo sąsūkos. Šį dalinį sukamąjį įtvirtį atstoja sukamoji spyruoklė, turinti spyruoklinį standį C_D (žr. 10.1 c pav.). Supaprastinant skaičiavimus sukamasis spyruoklinis standis C_D gali būti pakeičiamas šoniniu spyruokliniu standžiu K (žr. 10.1 d,e pav.).



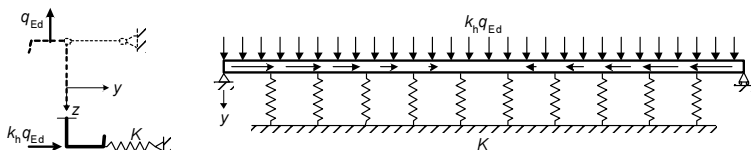
a) Z ir C formos skerspjūvio ilginis, kurio viršutinė juosta pritvirtinta prie lakštinio profiliuočio.



b) Visuminė deformacija, padalyta į dvi dalis.



c) Ilginio modelis su šoniniu ryšiu, kurį suteikia sukamasis spyruoklinis lakštinio profiliuočio įtvirtis C_D .



d) Supaprastinant sukamasis spyruoklinis standis C_D pakeičiamas šoniniu spyruokliniu standžiu K .

e) Laisvoji ilginio juosta, sumodeliuota kaip sija ant tampriojo pagrindo. Modelis perteikia sukimo ir šoninio lenkimo (įskaitant skerspjūvio iškrypą) poveikį vienam tarpatramiui, kurio neveikia keliamoji apkrova.

10.1 paveikslas. Ilginių su šoniniais ryšiais ir lakštinio profiliuočio suteikiamu sukamuoju įtvirtėju modeliavimas

9.7 pav. 10.1 pav. iš EC3-3

Laikomoji galia

Saugos ribinis būvis, kurį nagrinėjant nustatoma ilginio skerspjuvio laikomoji galia bei klumpamoji laisvosios juostos galia.

Kai ilginį veikia ašinė jėga ir skersinė apkrova, skerspjuvio laikomoji galia turi būti patikrinama, kaip parodyta 10.2 paveiksle, sudedant įtempius, atsirandančius dėl:

- plokštumoje veikiančio lenkiamojo momento $M_{y,Ed}$;
- ašinės jėgos N_{Ed} ;
- sukimo ir šoninio lenkimo sukeltos lygiavertės skersinės apkrovos $q_{h,Ed}$, veikiančios laisvąją juostą.

Didžiausieji skerspjuvio įtempiai turi tenkinti šias sąlygas:

- suvaržytos juostos įtempiai:

$$\sigma_{\max,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} \leq f_y / \gamma_M;$$

- laisvosios juostos įtempiai:

$$\sigma_{\max,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{fz,Ed}}{W_{fz}} \leq f_y / \gamma_M;$$

čia:

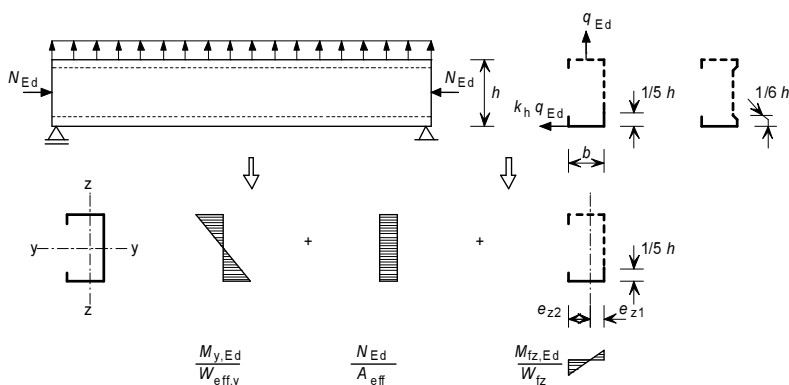
A_{eff} – efektyvusis skerspjuvio plotas, atsižvelgiant tik į tolygų gniuždymą;

f_y – stipris pagal takumo ribą;

$M_{fz,Ed}$ – laisvosios juostos lenkiamasis momentas, sukiamas skersinės apkrovos $q_{h,Ed}$;

$W_{eff,y}$ – efektyvusis skerspjuvio atsparumo momentas tik kai lenkiama apie y-y ašį;

W_{fz} – suminis tamprusis laisvosios juostos ir padedančiosios sienelės dalies skerspjūvių atsparumo momentas tik kai lenkiama apie z-z ašį; jei neatliekama tikslesnė analizė, padedančioji sienelės dalis gali būti lygi 1/5 sienelės aukščio, matuojamo nuo sienelės ir juostos sankirtos taško C ir Z formos profiliuotųjų atveju, arba 1/6 sienelės aukščio, Σ profiliuotųjų atveju, žr. 10.2 paveikslą;



10.2 paveikslas. Įtempių sudėtis

9.8 pav. 10.2 pav. iš EC3-3

Sukimo ir šoninio lenkimo sukelta lygiavertė skersinė apkrova $q_{h,Ed}$, veikianti laisvąją juostą, turi būti nustatyta taip:

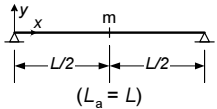

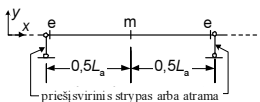
$$q_{h,Ed} = k_h q_{Ed}.$$

Įprastų tipų skerspjūvių koeficientas k_h turi būti nustatytas, kaip nurodyta 10.3 paveiksle.

$M_{0,fz,Ed}$ – pradinis laisvosios juostos, neturinčios jokios spyruoklinės atramos, skersinis lenkiamasis momentas (10.1 lent.);

κ_R – pataisos dėl efektyviosios spyruoklinės atramos koeficientas (10.1 lent.).

10.1 lentelė. Pradinio lenkiamojo momento $M_{0,fz,Ed}$ ir pataisos koeficiento κ_R reikšmės

Sistema	Vieta	$M_{0,fz,Ed}$	κ_R
	m	$\frac{1}{8} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 - 0,0225R}{1 + 1,013R}$
	m	$\frac{9}{128} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 - 0,0141R}{1 + 0,416R}$
	e	$-\frac{1}{8} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 + 0,0314R}{1 + 0,396R}$
	m	$\frac{1}{24} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 - 0,0125R}{1 + 0,198R}$
	e	$-\frac{1}{12} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 + 0,0178R}{1 + 0,191R}$

9.10 pav. 10.1 lent. iš EC3-3

Spyruoklinės atramos koeficiento R reikšmę, apskaičiuojamą taip:

$$R = \frac{K l_a^4}{\pi^4 E I_{fz}} ;$$

čia:

I_{fz} –suminio laisvosios juostos ir padedančiosios sienelės dalies skerspjūvio ploto inercijos momentas;

K – šoninis spyruoklinis vienetinio ilgio standis iš 10.1.5.1;

L_a – atstumas tarp priešįsvirinių strypų arba, jei jų nėra, ilginio tarpataramis L .

Suminis vienetinio ilgio skersinis spyruoklinis standis K turi būti apskaičiuojamas taip:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_A} + \frac{1}{K_B} + \frac{1}{K_C};$$

čia:

K_A – skersinis standis, atitinkantis lakštinio profiliuoties ir ilginio mazgo sukamąjį standį;

K_B – skersinis standis dėl ilginio skerspjūvio iškreipos;

K_C – skersinis standis dėl lakštinio profiliuoties lenkiamojo standžio.

Galima tarti, kad yra saugu ir priimtina nepaisyti $1/K_C$, kadangi K_C yra labai didelis, palyginti su K_A ir K_B . Tuomet K reikšmė turi būti apskaičiuojama taip:

$$K = \frac{1}{(1/K_A + 1/K_B)}.$$

Čia $(1/K_A + 1/K_B)$ reikšmė gali būti nustatyta bandymais arba skaičiavimu.

Vienetinio ilgio skersinis spyruoklinis standis K gali būti apskaičiuojamas taip:

$$\frac{1}{K} = \frac{4(1-\nu^2)h^2(h_d + b_{\text{mod}})}{Et^3} + \frac{h^2}{C_D};$$

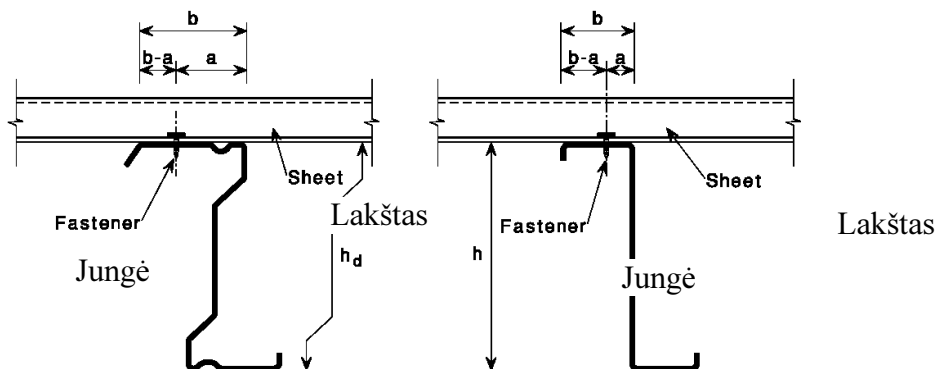
čia: matmuo b_{mod} nustatomas pagal 10.1.5.1 skyrių;

t – ilginio storis;

C_D – suminis sukamasis spyruoklinis standis;

h – bendrasis ilginio aukštis;

h_d – išsklotinis ilginio sienelės aukštis, žr. 10.6 paveikslą.



9.11 pav. 10.6 pav. iš EC3-3. Ilginis ir pritvirtintas lakštinis profiliuotis

Suminis sukamasis spyruoklinis standis C_D turi būti apskaičiuotas taip:

$$C_D = \frac{1}{(1/C_{D,A} + 1/C_{D,C})}; \quad (10.14)$$

čia:

$C_{D,A}$ – lakštinio profiliuotio ir ilginio jungties sukamasis standis;

$C_{D,C}$ – sukamasis standis, atitinkantis lakštinio profiliuotio lenkiamąjį standį.

Jei lakštus su ilginiais jungiančios jungės yra ilginio juostos viduryje, trapezinių lakštinių profiliuotųjų, prijungtų prie ilginio viršutinės juostos, $C_{D,A}$ reikšmė gali būti nustatyta kaip pateikta 10.1.5.2 skyriuje:

$$C_{D,A} = C_{100} k_{ba} k_t k_{bR} k_A k_{bT} ;$$

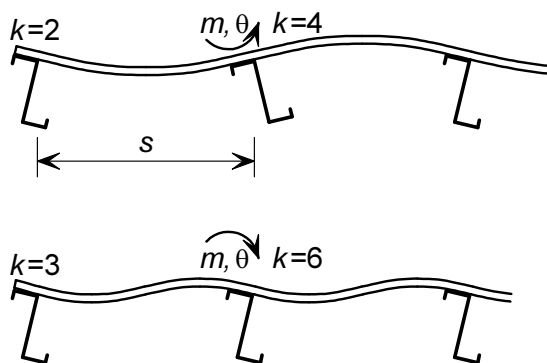
Su atsarga $C_{D,C}$ reikšmė dar gali būti apskaičiuojama taip:

$$C_{D,C} = \frac{k E I_{eff}}{s} ;$$

čia k yra skaitinis koeficientas (10.7 pav.);

I_{eff} – efektyvusis vienetinio pločio lakštinio profiliuotio skerspjūvio ploto inercijos momentas;

s – ilginių žingsnis.



9.12 pav. 10.7 pav. iš EC3-3. $C_{D,C}$ skaičiavimo modelis

Galima nepaisyti $C_{D,C}$, kadangi spyruokliniam standžiui didžiausią poveikį turi $C_{D,A}$ reikšmė ir skerspjuvio iškreipa.

Klumpamoji laisvosios juostos galia.

Jei laisvoji juosta yra gniuždoma, jos klumpamoji galia turi būti patikrinama taip:

$$\frac{1}{\chi_{LT}} \left(\frac{M_{y,Ed}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} \right) + \frac{M_{fz,Ed}}{W_{fz}} \leq f_{yb} / \gamma_{M1};$$

čia χ_{LT} yra skersinio sukamojo klumpumo (lenkiamojo laisvosios juostos klumpumo) koeficientas, kuris nustatomas pagal tokią išraišką:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{fz}^2}}, \quad \text{bet} \quad \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1,0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{fz}^2} \end{cases}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{fz} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{fz}^2 \right].$$

Jei sąlyginis liaunis apskaičiuojamas kaip parodyta žemiau, rekomenduojama remtis klumpumo kreive b ($\alpha_{LT} = 0,34$; $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$; $\beta = 0,75$). taip:

$$\bar{\lambda}_{fz} = \frac{l_{fz} / i_{fz}}{\lambda_1},$$

čia:

$$\lambda_1 = \pi \left[E / f_{yb} \right]^{0,5};$$

I_{fz} – laisvosios juostos klumpamasis ilgis (10.1.4.2 skyrius);

i_{fz} – suminio laisvosios juostos ir padedančiosios sienelės dalies skerspjūvio ploto inercijos spindulys, kai lenkiama apie z-z ašį.

Įlinkiai

Įlinkiai skaičiuojami tariant, kad ilginio elgsena yra tampri.

Skačiuojant įlinkius turi būti atsižvelgiama į slydimo jungtyse galimybę (pvz. kelių tarpatramių ilginiuose su jungtimis, kurios įrengiamos panaudojant movas ar užlaidas).

Supaprastintas ilginių skaičiavimas

C, Z ir Σ formos skerspjūvio ilginiai gali būti projektuojami pagal supaprastintą metodiką, jei atitinka šias sąlygas:

- skerspjūvio matmenys yra tarp E.1 lentelėje nurodytų ribų;
- ilginių tarpatramiai vienodi ir jie veikiami tolygiai išskirstyta apkrova;
- ilginius nuo sąsūkos sutvirtina trapeciniai lakštiniai profiliuočiai;
- ilginius gulsčiojoje plokštumoje įtvirtina trapeciniai lakštiniai profiliuočiai, jei gulsčiasis įtvirtis atitinka (1993-1-3, 10.1) lygties sąlygas.

Pagal 10.1 sąlygą gali būti laikoma, kad jungties vietoje ilginis turi skersinį įtvirtį lakštinio profiliuočio plokštumoje:

$$S \geq \left(El_w \frac{\pi^2}{L^2} + Gl_t + El_z \frac{\pi^2}{L^2} 0,25 h^2 \right) \frac{70}{h^2};$$

čia:

S – šlyties standžio dalis, kurią nagrinėjamam profiliuočiai suteikia lakštiniai profiliuočiai, prijungti kiekviena savo banga (jei lakštiniai profiliuočiai prijungti prie ilginio tik kas antra banga, S turi būti pakeičiama į $0,20S$); Šlyties standis S gali būti apskaičiuojamas remiantis ECCS rekomendacijomis arba nustatomas bandymais;

I_w – ilginio persimetimo konstanta;

I_t – ilginio sukimo konstanta;

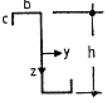

I_z – skerspjuvio ploto inercijos momentas apie silpnąją ilginio skerspjuvio ašį;

L – ilginio tarpatramis;

H – ilginio aukštis.

E.1 lentelė. Supaprastinto projektavimo metodo taikymo apribojimai ir kitos 5.2 poskyrio 5.1 lentelėje nustatytos ribos

(y ašis yra lygiagreti su viršutine juosta, o z ašis – jai statmena)

Ilginiai	t [mm]	b/t	h/t	h/b	c/t	b/c	L/h
	$\geq 1,25$	≤ 55	≤ 160	$\leq 3,43$	≤ 20	$\leq 4,0$	≥ 15
	$\geq 1,25$	≤ 55	≤ 160	$\leq 3,43$	≤ 20	$\leq 4,0$	≥ 15

9.13 pav. E.1 lent. iš EC3-3

Šis metodas neturi būti taikomas:

- sistemoms su priešjsviriniais strypais;
- movinėms arba užlaidinėms sistemoms;
- veikiant ašinėms jėgoms N_{Ed} .

Skaičiuojant šiuo supaprastintu metodu turi būti tenkinama sąlyga:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{LT,Rd}} \leq 1;$$

čia

$$M_{LT,Rd} = \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right) W_{eff,y} \frac{\chi_{LT}}{k_d};$$

kur

χ_{LT} – skersinio sukamojo klupumo koeficientas apskaičiuojamas kaip lenkiamųjų elementų skersinis sukamasis klupumas (žr. 1993-1 dalį) ir laikant, kad priklauso nuo

$$\bar{\chi}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} f_y}{M_{cr}}};$$

Skaičiuojant χ_{LT} , α_{LT} pakeičiamas į $\alpha_{LT,eff}$:

$$\alpha_{LT,eff} = \alpha_{LT} \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{eff,y}}};$$

α_{LT} – nuokrypio koeficientas;

$W_{el,y}$ – bendrojo skerspjuvio atsparumo momentas y-y ašies atžvilgiu;

$k_d = \left(a_1 - a_2 \frac{L}{h} \right)$, bet $\geq 1,0$ – koeficientas, kurį taikant atsižvelgiama į

įtvirčio neturinčią ilginio dalį;

a_1, a_2 – koeficientai iš E.2 lentelės;

L – ilginio tarpatramis;

h – bendrasis ilginio aukštis.

E.2 lentelė. (E.5) lygties koeficientai a_1 ir a_2

Sistema	Z formos ilginiai		C formos ilginiai		Σ formos ilginiai	
	a_1	a_2	a_1	a_2	a_1	a_2
Vieno tarpatramio sija, sunkio apkrova	1,0	0	1,1	0,002	1,1	0,002
Vieno tarpatramio sija, keliamoji apkrova	1,3	0	3,5	0,050	1,9	0,020
Nekarpytoji sija, sunkio apkrova	1,0	0	1,6	0,020	1,6	0,020
Nekarpytoji sija, keliamoji apkrova	1,4	0,010	2,7	0,040	1,0	0

9.14 pav. E.2 lent. iš EC3-3

Tamprusis kritinis skersinis sukamasis klumpamasis momentas gali būti apskaičiuotas taip:

$$M_{cr} = \frac{k}{L} \sqrt{G I_t^* E I_v} ;$$

čia:

I_t^* – netikrasis skerspjūvio ploto Sen Venano sukamasis inercijos momentas, kuriuo (E.10) ir (E.11) lygtimis atsižvelgiama į efektyvųjį sukamąjį įtvirtį:

$$I_t^* = I_t + C_D \frac{L^2}{\pi^2 G};$$




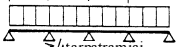

I_t – ilginio skerspjūvio ploto Sen Venano sukamasis inercijos momentas;

$$1/C_D = \frac{1}{C_{D,A}} + \frac{1}{C_{D,B}} + \frac{1}{C_{D,C}};$$

$C_{D,A}$, $C_{D,C}$, $C_{D,B}$ – sukamasis standis pagal 10.1.5.1 ir 10.1.5.2

k – skersinio sukamojo klupumo koeficientas iš E.4 lentelės.

E.4 lentelė. Gulsčiąjį viršutinės juostos įtvirtį turinčių ilginių skersinio sukamojo klupumo koeficientas k

Statinė sistema	Sunkio apkrova	Keliamoji apkrova
	∞	10,3
	17,7	27,7
	12,2	18,3
	14,6	20,5
		

9.15 pav. E.4 lent. iš EC3-3

Klupumo koeficientas gali būti priimtas:

$$\chi_{LT} = 1,0$$

jei yra vieno tarpatramio sija, kurią veikia sunkio apkrova arba galioja sąlyga:

$$C_D \geq \frac{M_{el,u}^2}{E I_v} k_g ;$$

čia:


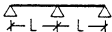
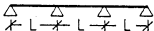
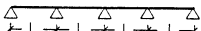
$M_{el,u} = W_{el,u} f_y$ – tamprioji bendrojo skerspjuvio lenkiamoji galia pagrindinės $u-u$ ašies atžvilgiu;

I_v – bendrojo skerspjuvio ploto inercijos momentas silpnosios $v-v$ ašies atžvilgiu:

k_g – koeficientas, skirtas atsižvelgti į statinę ilginio sistemą pagal E.3 lentelę.

Kai C ir Σ ilginių juostos yra vienodos, $I_v = I_z$, $W_u = W_y$ ir $M_{el,u} = M_{el,y}$. Skerspjuvių ašys įvardytos 1.7 paveiksle.

E.3 lentelė. Koeficientai k_g

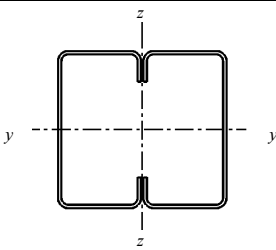
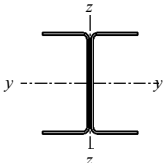
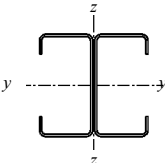
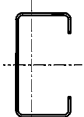
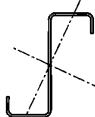



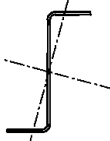
Statinė sistema	Sunkio apkrova	Keliamoji apkrova
	—	0,210
	0,07	0,029
	0,15	0,066
	0,10	0,053

9.16 pav. E.3 lent. iš EC3-3

10. KOLONOS

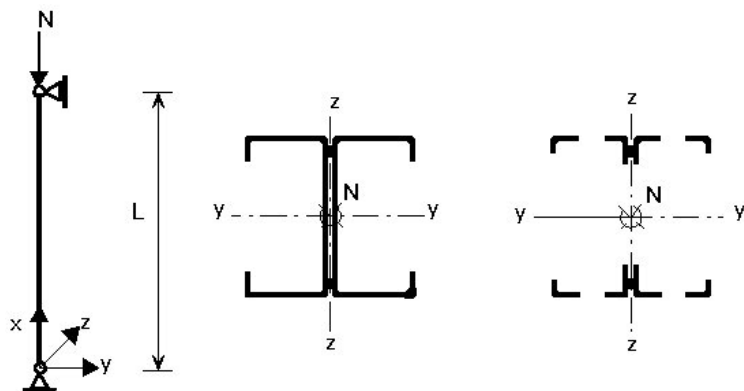
Ašinės jėgos veikiamos kolonos

Ašinės jėgos veikiamoms kolonomis naudojami įprastiniai plokštieji skerspjūviai (žr. lentelę). Dažniausiai ašinės jėgos gniuždomiems elementams naudojami simetriniai skerspjūviai.

Skerspjuvju tips		Kļupumas apie ašī	Kļupumo kreivē
	jei vartojamas f_{yb}	bet kuniā	b
	jei vartojamas f_{ya}	bet kuniā	c
		$y-y$	a
		$z-z$	b
		bet kuniā	b
			
			
			
		bet kuniā	c
	arba kitoks skerspjuvis		

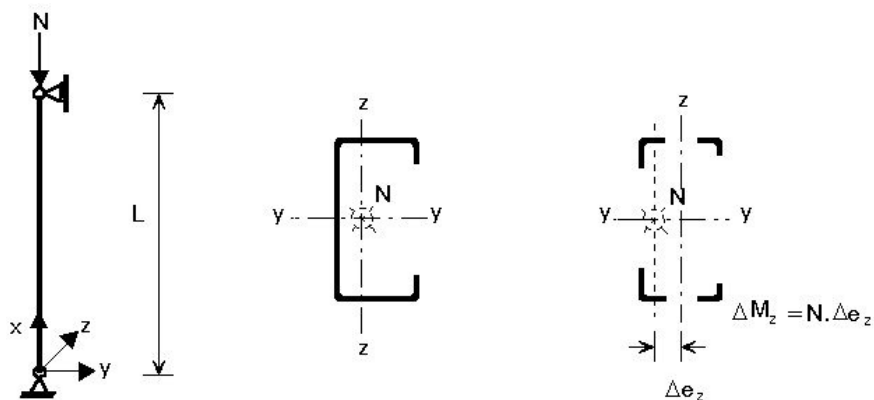
10.1 pav. Skerspjuvju tipai ir atitinkamos kļupumo kreivēs

Plonasienių skerspjūvių ašinės jėgos veikiamų kolonų efektyvusis skerspjūvis apskaičiuojamas pagal įprastas taisykles, priimant, kad įtempiai pasiskirsto tolygiai per visą skerspjūvį (žr. pav.).

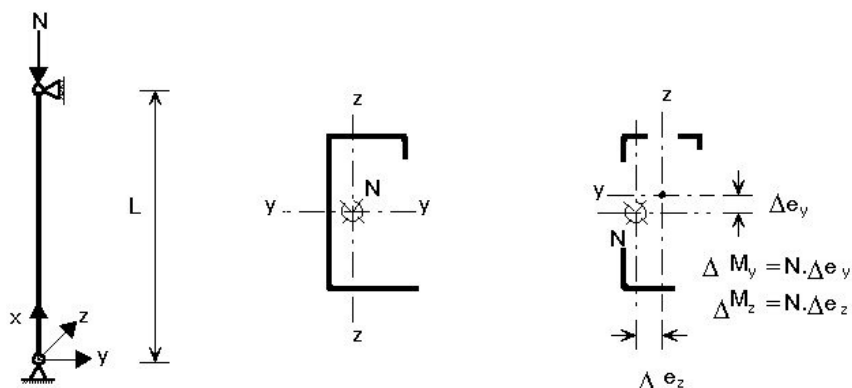


10.2 pav. Ašinės jėgos veikiamas elementas; bendras ir efektyvusis skerspjūvio plotai

Naudojant nesimetrinius skerspjūvius efektyviojo skerspjūvio sunkio ašis persislenka ir atsiranda papildomas lenkimo momentas apie vieną arba abi skerspjūvio ašis (žr. paveikslus). Tuomet šiuos elementus reikia skaičiuoti kaip gniuždomos ašinės jėgos ir lenkimo momentų veikiamus elementus (ekscentriškieji elementai).



10.3 pav. Ašinės jėgos veikiamas elementas; papildomas lenkimo momentas z ašį



10.4 pav. Ašinės jėgos veikiamas elementas; papildomi lenkimo momentai apie y ir z ašis

Kolonų skaičiavimas visiškai atitinka eurokodo 1993-1-3 nuorodas

Lenkimo momento ir ašinės jėgos veikiamos kolonos

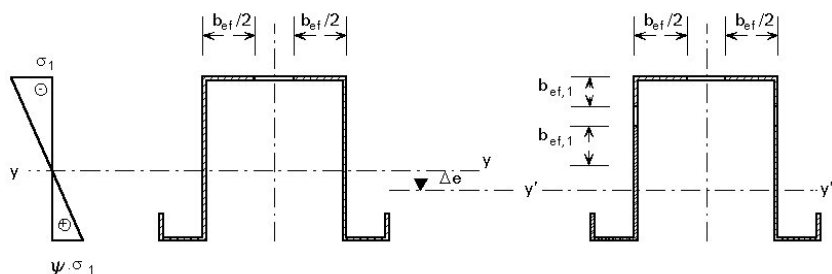
Skaiciavimas atitinka skyrių lenkimo momento ir ašinės jėgos veikiamų elementų skaičiavimą.

11. SIJOS

Sijos yra lenkiami elementai ir jų skaičiavimas priklauso ar sija yra suvaržyta ar nesuvaržyta nuo skersinio sukamojo klumpo.

Sijos suvaržytos nuo lenkiamojo (skersinio) sukamojo klumpo

Paprastai ant sijų dedama tam tikro perdanga, kuri tvirtinama per visą sijos ilgį. Tokiu atveju pakanka tikrinti tik sijos stiprumą (stiprumo laikomąją galią).



Lenkiamo elemento efektyvusis skerspjūvis

Sijos nesuvaržytos nuo lenkiamojo sukamojo klumpo

Jei prie sijos visu ilgiu nėra pritvirtinta perdanga arba sija nuo skersinio sukamojo klumpo įtvirtinta tik atskiruose taškuose (pvz. antraeilių sijų prijungimo vietose), sijos laikomoji galia turi būti nustatoma tikrinant sijos stiprumą ir jos stabilumą.

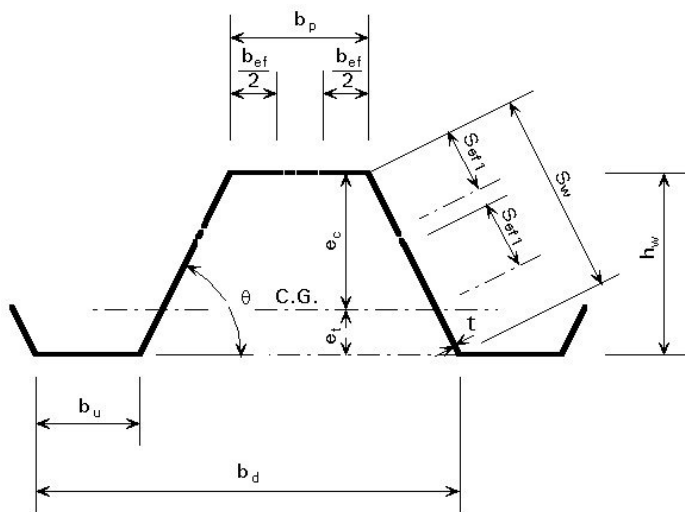
12. TRAPECINIAI LAKŠTINIAI PROFILIUOČIAI

Trapeciniai lakštiniai profiliuočiai dažniausiai naudojami projektuojant stogo ir išorės sienų konstrukcijas (buvo parodyta prie pastato konstrukcijų).

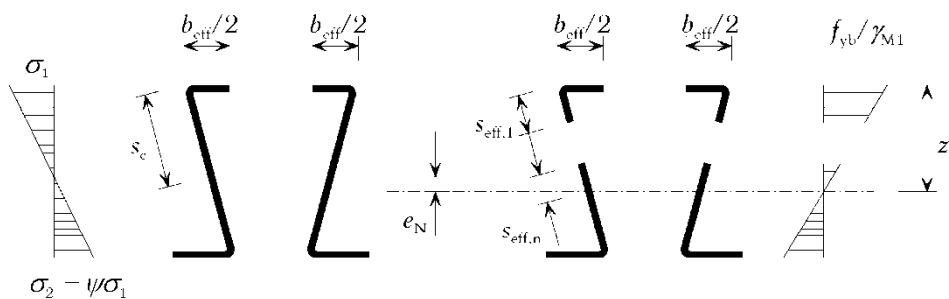
Trapecinių lakštinių profiliuočių, naudojami stogo ir sienų konstrukcijose, skaičiuojama:

- lenkimo laikomoji galia;
- šlyties laikomoji galia;
- vietinių jėgų laikomoji galia;
- lenkimo momento ir skersinės jėgos bendro poveikio laikomoji galia;
- standumas.

EC1993-1-3 dalį galima taikyti, jei trapecinio lakštinio profilio matmenys atitinka apribojimus duotus šių normų 5.1 lent. Kitais atvejais būtina atlikti bandymus.



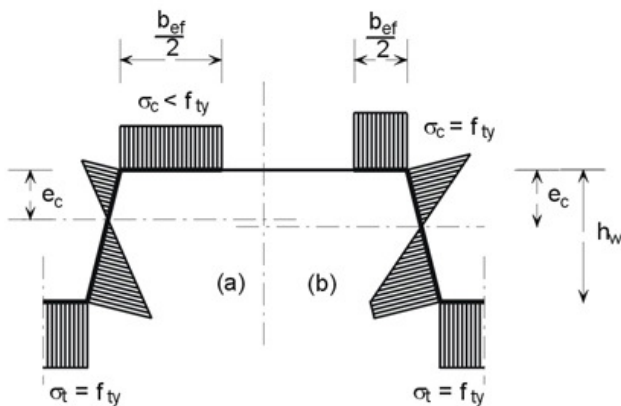
15.1 pav. Trapecinio lakštinio profiliuotio pažymėjimai



12.2 pav. Efektyvusis skerspjūvis lenkiamajai galiai nustatyti
(6.3 pav. EC3-1-3)

Lenkiamosios laikomosios galios tikrinimas

Žr. paskaitą, kurioje buvo pateikiamas skaičiavimas nuo lenkimo momento. Paprastai priimama, kad apatinėje juostoje pasiekiami takumo įtempiai, o kita skerspjūvio dalis dirba tampriai (pav. (a)) arba primama, kad takumo įtempiai pasiekiami ir apatinėje ir viršutinėje juostose (pav. (b)).

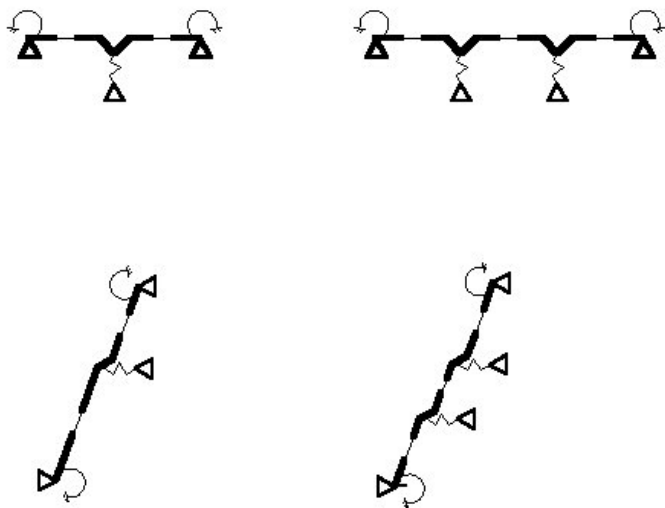


12.3 pav. Įtempių pasiskirstymas, kai takumo įtempiai pasiekiami tik apatinėje juostoje (a) ir kai takumo įtempiai pasiekiami apatinėje ir viršutinėje juostose (b)

Jei sienelė yra pakankamai liauna (4 klasė) dalį sienelės reikia nevertinti (žr. pav.).

Skerspjūvio charakteristikos skaičiuojamos visam skerspjūviui ir efektyviajam skerspjūviui.

Tarpinės sąstandos (žr. pav.) sustandina skerspjūvį ir padidina skerspjūvio laikomąją galią.



12.4 pav. Tarpinių sąstandų modeliavimas

Šlyties laikomoji galia.

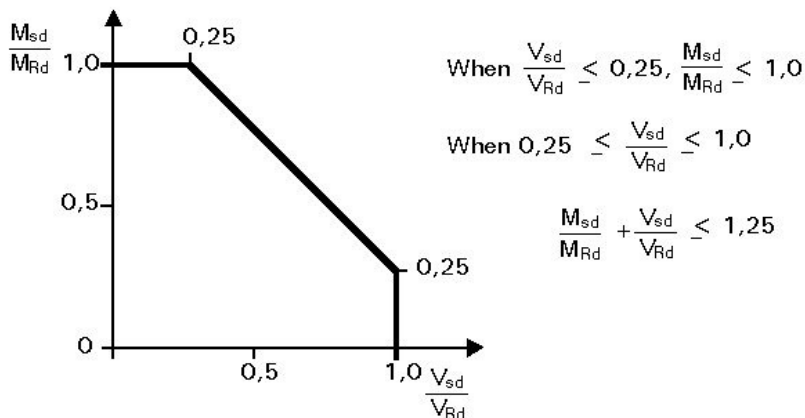
Žr. skaičiavimas nuo skersinės jėgos

Vietinių jėgų laikomoji galia.

Žr. skaičiavimas vietinėms jėgoms.

Lenkimo momento ir skersinės jėgos bendro poveikio laikomoji galia.

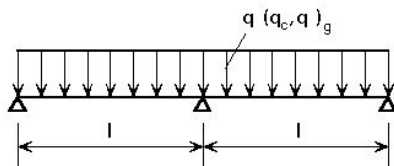
Šiuo atveju taikomos sąlygos parodytos pav.



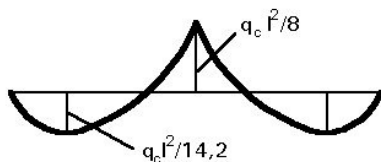
12.5 pav. Momento ir skersinės jėgos sąveikos diagrama

Momentų persiskirstymas

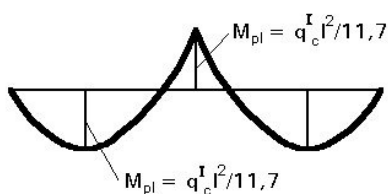
Paprastai trapeciniuose lakštiniuose profiliuočiuose įrąžos apskaičiuojamos tamprojoje stadijoje. Tačiau leidžiama įvertinti ir įrąžų persiskirstymą. Tai galima atlikti taikant plastinių šarnyrų metodą. Dviejų tarpatramių įrąžų persiskirstymas dėl plastinės elgsenos parodytas pav.



System and loading



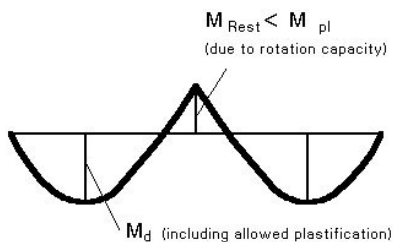
Elastic moment distribution
($q_c = 8M_{el}/l^2$)



Moment redistribution,
compact section

$$q_c^I = 11.7 \cdot M_{pl}/l^2$$

$$M_{pl} = f_y \cdot W_{pl} \quad q_c^I = q_g$$



Moment redistribution,
thin-walled section

$$q_c^{II} = \alpha q_c^I; \quad \alpha \leq 1$$

$$M_{Rest} \leq M_{pl}$$

$$M_d < f_y W_{pl}$$

12.6 pav. Momentų persiskirstymas dviejų tarpatriamių elemente

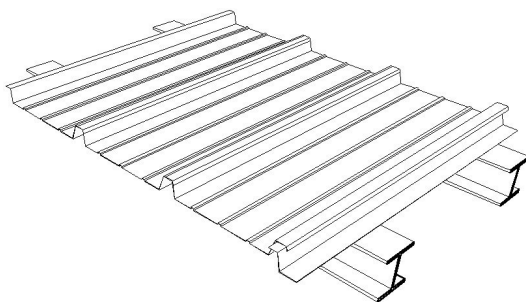
13. STATINIAI IŠ PLONASIENIŲ KONSTRUKCIJŲ

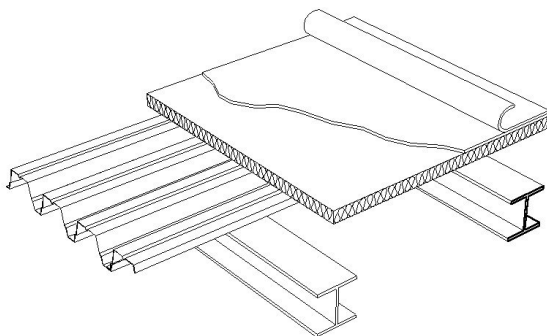
Projektuojant statinius siekiama, kad jie būtų pakankamai lengvi ir ekonomiški. Todėl vis plačiau naudojamos plonasienės konstrukcijos. Plonasieniai elementai, tokie kaip ilginiai, rėmo elementai (kolonos, sijos) vis dažniau pakeičia tradicinius valcuotus elementus (sijas, kolonas) ir ypač valcuotus ilginius. Taip pat šie plonasieniai elementai dažnai pakeičia ir konstrukcijas iš kitų medžiagų, pvz. medines.

Prie plačiai naudojamų konstrukcinių elementų reikia priskirti ir profiluotus lakštus. Jie jau buvo naudojami ir ženkliai anksčiau. Tačiau dabar dėl tobulesnės jų gamybos technologijos (sudėtingesnė forma ir pan.) ir panaudojimo ne tik stogams, bet ir net perdangoms, jų panaudojimo sritis labai išsiplėtė.

TAIKYMAS. PROFILIUOTI LAKŠTAI

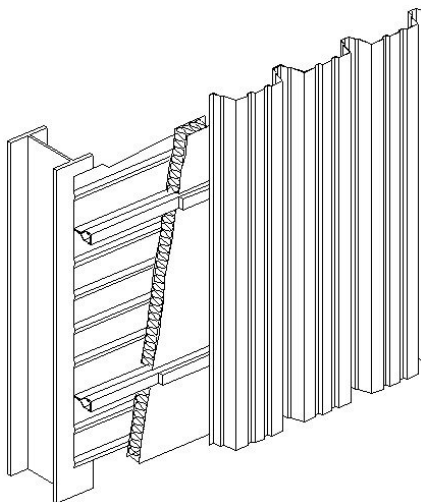
Profiluoti lakštai gali būti naudojami stogams.





13.1 pav. Stogų konstrukcija naudojant vieną profiliuotą lakštą

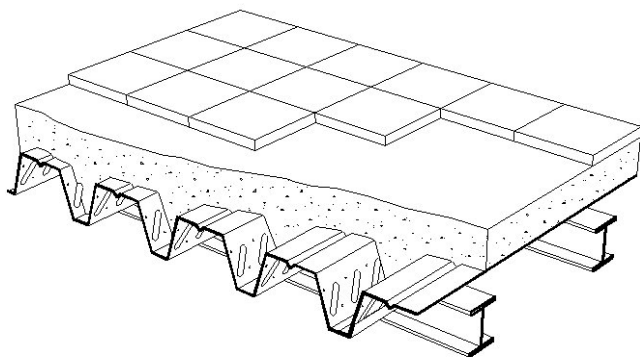
Kitas platus panaudojimas profiliuoto lakšto yra jų naudojimas vertikalios sienų konstrukcijoms.



13.2 pav. Vertikalios sienos konstrukcija

Profiliuoti lakštai gali būti naudojami kompozitinėms perdangoms įrengti. Profiliuotas lakštas naudojamas nesutvirtėjusio betono svoriui

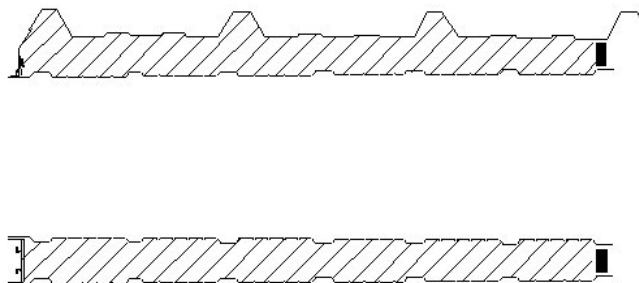
laikyti ir perdangoms apkrovoms laikyti. Efektyviausia panaudojimas šiose konstrukcijose jei skaičiavimas atliekamas kaip kompozitinės konstrukcijos.



13.3 pav. Profiliuoto lakšto panaudojimas kompozitinėje perdangoje

TAIKYMAS. TRISLUOKSNĖS PLOKŠTĖS

Trisluoksnės (Sandvič) plokštėms naudojami du profiliuoti lakštai ir tarp jų dedama šilumos izoliacija. Jie leidžia pakankamai greitai įrengti stogo ar sienų konstrukciją.



13.4 pav. Sandvič tipo plokštės

TAIKYMAS. ELEMENTAI

Kaip jau buvo parodyta anksčiau elementams naudojami įvairiausios formos skerspjūviai. Labiausiai taikytini skerspjūviai yra tie, kurių jungtims nereikia papildomų elementų, pvz. sujungti du plonasienius elementus suglaudžiant sienes.

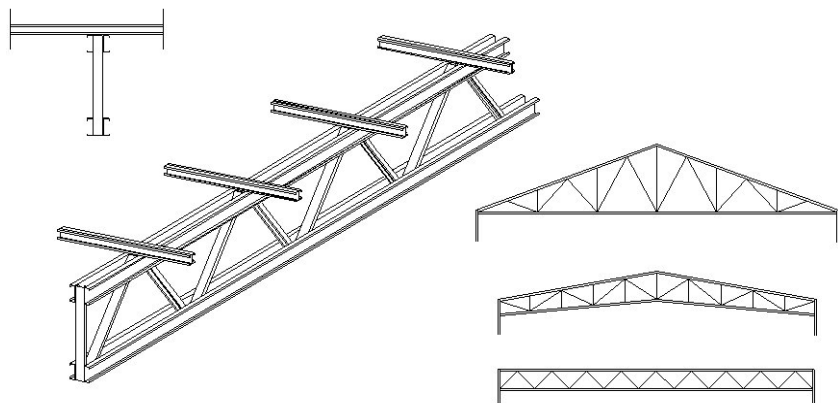
Ranges of available dimensions of common cold-formed sections				
Section type	Dimension ranges (mm)			Remarks
	Steel core thickness	Section height H	Flange width W	
Angle $H/W \times T$	1,5 - 10,0	15 - 225	15 - 225	
U-section $W/H \times W \times T$	1,5 - 10,0	20 - 400	15 - 160	
C-section $A/W/H \times W/B \times T$	1,5 - 6,0	20 - 400	40 - 160	
Omega $A/H \times W/H/B \times T$	1,5 - 5,0	20 - 100	20 - 100	
Z-section $W/H \times W \times T$	2,0 - 6,0	30 - 80	20 - 30	
Lipped Z-section $A/W_1/H/M_2/B \times T$	1,5 - 4,0	120 - 300	50 - 100	As purlin in roofs
Split tubular section $\varnothing \times T$	0,8 - 4,0	$\varnothing 16 - \varnothing 80$	50 - 100	Diameter is instead of height
Split rectangular section $A/H \times W/H/B \times T$	1,5 - 4,0	12 - 140	12 - 140	

13.5 pav. Įprasti šaltai formuotų skerspjūviai

PRAMONINIAI PASTATAI

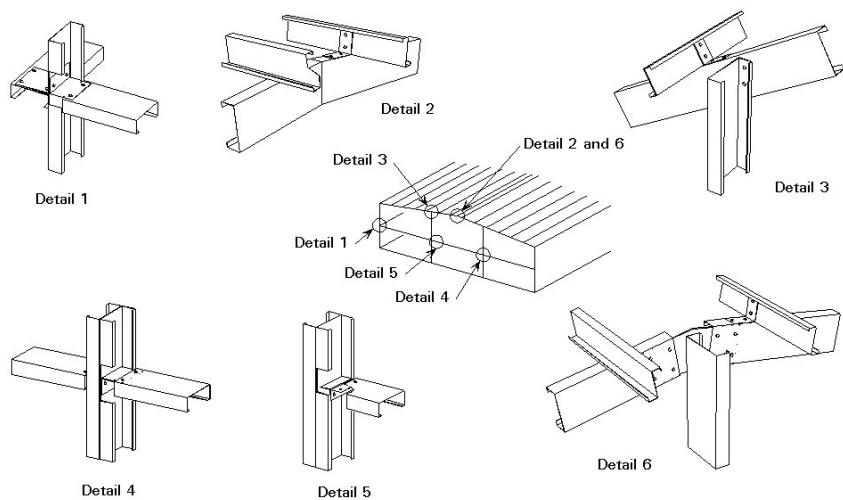
Santvaros. Jos paprastai projektuojamos iš lovinių profilių. Juostos projektuojamos iš suporintų lovių sienelėmis į vidaus pusę. Tinklelio strypai paprastai projektuojami iš viengubo lovinio profilio. Paprastai naudojamas pakankamai didelio stiprumo plienas. Elementai mazge

jungiami dažniausiai varžtais. Tokias santvaras galima suprojektuoti iki 50 m. ilgio.



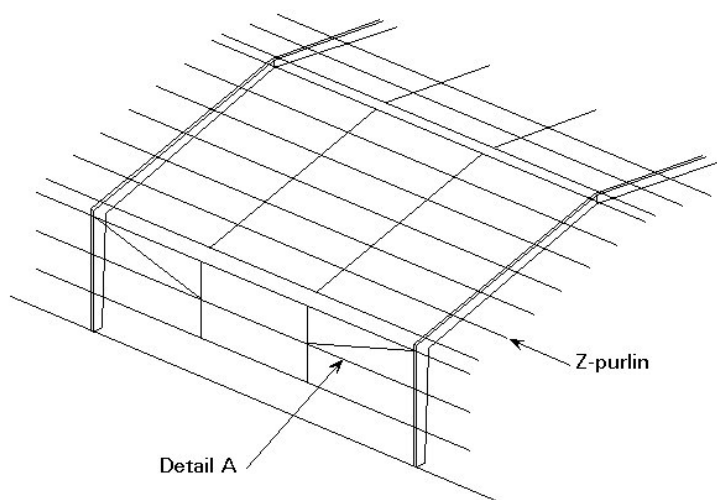
13.6 pav. Santvaros

Rėmai paprastai dažniausiai projektuojami nedidelio tarpatramio. Bet dabar jau galima sutikti ir gana didelio tarpatramio rėmus.

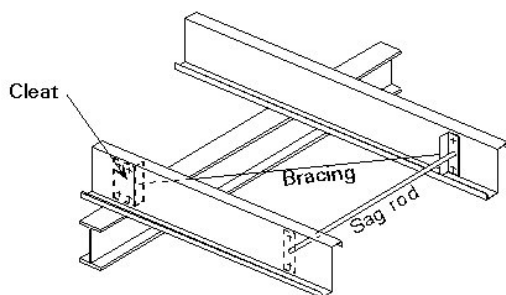


13.7 pav. Rėmų plonasieniai elementai

Didžiausias plonasienių elementų panaudojimas yra jų taikymas ilginiams. Tarpatramis nuo 4 iki 15 metrų. Skerspjūvio aukštis nuo 100 iki 300 mm.

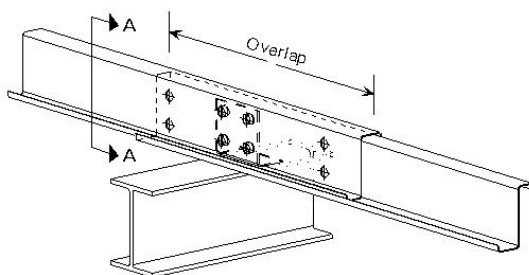


(a)

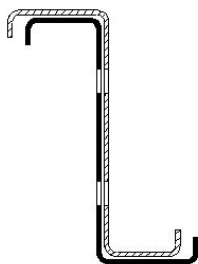


(b) Detail A

13.8 pav. Ilginiai



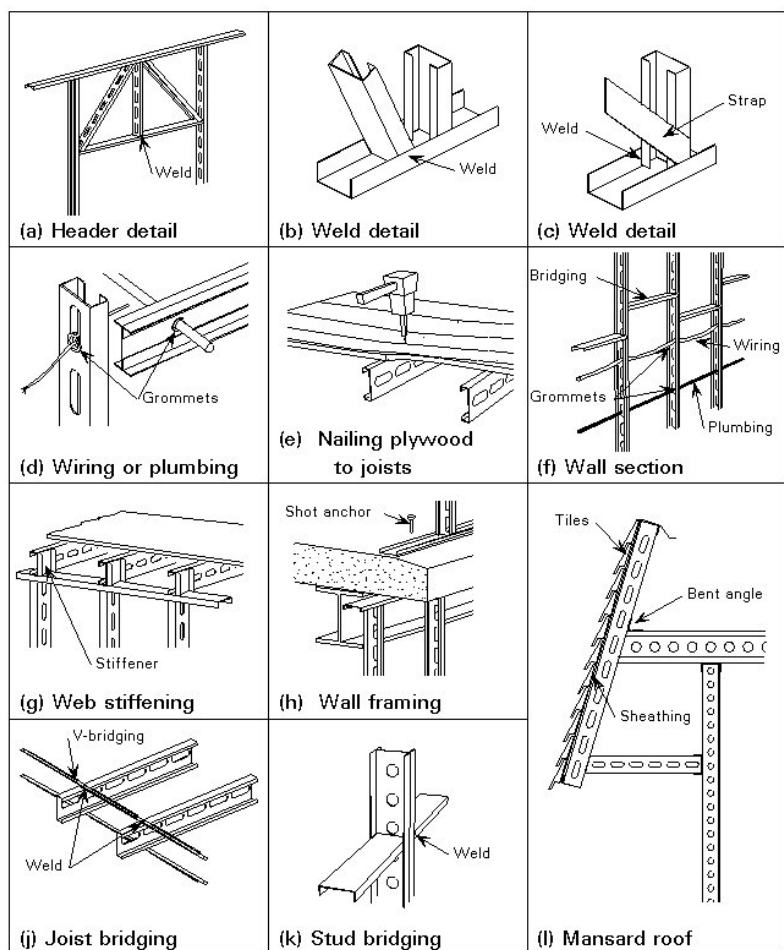
(a)



(b) Section A-A

13.9 pav. Ilginių jungtis

GYVENAMIEJI PASTATAI

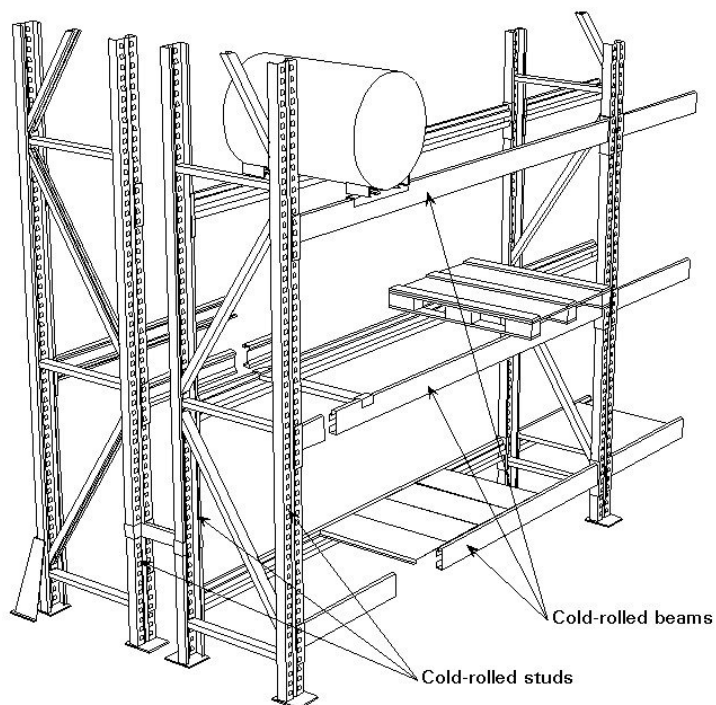


13.10 pav. Plonasieniai skerspjūviai gyvenamuosiuose pastatuose

Gyvenamuosiuose namuose elementai tarpusavyje jungiami varžtais. Gali būti naudojami ir iš anksto surinktos plokštės.

STELAŽAI

Dažniausiai naudojami lankstyti profiliai su apvaliomis ir pailgomis skylėmis, kad būtų patogų elementus tarpusavyje greitai sujungti ir išardyti.



13.11 pav. Stelažai



14. PLONASIENIŲ KONSTRUKCIJŲ SKAIČIAVIMO PAVYZDŽIAI

Lankstyto lovio skaičiavimas

Suprojektuoti lanksčiai paremtą 4 m ilgio grindų siją iš lankstyto lovinio profilio. Prijungiamų sijų žingsnis 1 m.

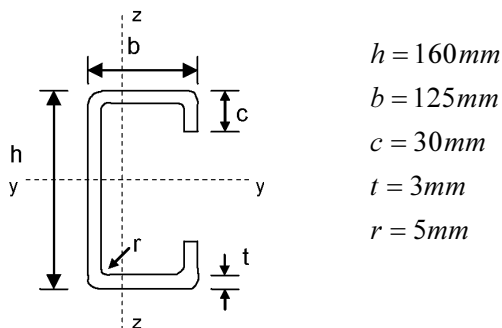
Skaičiuotinė apkrova nuo nuolatinių ir kintamųjų apkrovų 7,2 kN/m

Plienas S 500 MC

Apkrova nėra pridėta šlyties centre, todėl būtina įvertinti papildomai papildomą skerspjūvio sukimą. Tačiau šiame pavyzdyje tas nebus sprendžiama.

Apkrovos

Skaičiuotinė apkrova į tiesinį sijos metrą
 $q = 7,2 \text{ kN} / \text{m}$



14.1 pav. Lankstyto lovio matmenys

Koeficientai:

$$\gamma_{M0} = 1,0 \text{ ir } \gamma_{M1} = 1,1 \text{ [2 sk. LST EN 1993-1-3]}$$

Izrāžos

Lenkimo moments

$$M_{Ed} = \frac{q \times 4^2}{8} = 14,4 \text{ kNm}$$

Skersinē jēga

$$V_{Ed} = \frac{q \times 4}{2} = 14,4 \text{ kN}$$

Plienas

Stipris

$$f_{yb} = 500 \text{ MPa} (N / mm^2) \quad f_u = 550 \text{ MPa} (N / mm^2)$$

EN 10149 2 dalis [3.1b lent. LST EN 1993-1-3]

Patikrināms ar skersspjūvis gali būtī priskirtas skersspjūvīams, kuriems galioja LST EN 1993-1-3.

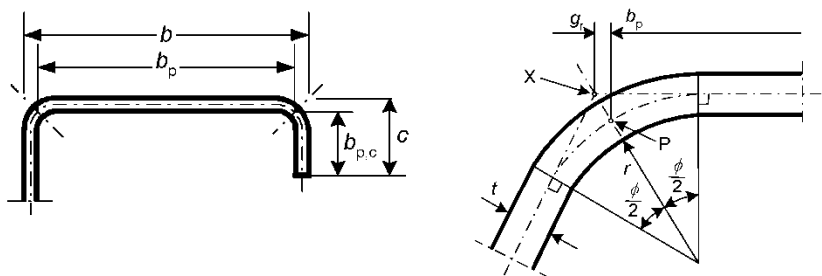
$$\frac{b}{t} = \frac{125}{3} = 41,7 \leq \frac{b}{t} = 60$$

$$\frac{c}{t} = \frac{30}{3} = 10 \leq \frac{c}{t} = 50$$

$$\frac{h}{t} = \frac{160}{3} = 53,3 \leq \frac{h}{t} = 500 \sin \varphi = 500 \sin 90^\circ = 500$$

Skersspjūvio savybēs

Suapvalinti kampai



[5.1 pav. LST EN 1993-1-3]

$$r_m = r + t / 2 = 5 + 3 / 2 = 6,5 \text{ mm}$$

$$g_r = r_m \left(\operatorname{tg}\left(\frac{\phi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \right) = 6,5 \times (\operatorname{tg}45^\circ - \sin45^\circ) = 6,5 \times (1,0 - 0,707) = 1,9 \text{ mm}$$

$$b_p = b - t - 2g_r = 125 - 3 - 2 \times 1,9 = 118,2 \text{ mm}$$

Kadangi

$$r = 5 \text{ mm} \leq 5t = 5 \times 3 = 15 \text{ mm} \text{ ir}$$

$$r = 5 \text{ mm} \leq 0,10b_p = 0,10 \times 118,2 = 11,82 \text{ mm} ,$$

Skaiciuojant skerspjūvio laikomąją galią į kampų užapvalinimą galima nekreipti dėmesio, t. y. galima skerspjūvį laikyti sudarytą iš plokščių elementų su stačiais kampais. Skaiciuojant skerspjūvio standžio charakteristikas visuomet turi būti taikoma tikroji skerspjūvio forma, t. y. su užapvalintais kampais [5.1 sk. LST EN 1993-1-3].

Užapvalintų kampų įtaka skerspjūvio charakteristikoms su tam tikru tikslumu gali būti įvertinta sumažinant skerspjūvio charakteristikas apskaičiuotas skerspjūviui su stačiais kampais taikant tokias išraiškas:

Juostos plokščios dalies plotis

$$b_{p,f} = b - t - 2g_r = 125 - 3 - 2 \times 1,9 = 118,2 \text{ mm}$$

Sienelės plokščios dalies plotis

$$b_{p,w} = h - t - 2g_r = 160 - 3 - 2 \times 1,9 = 153,2 \text{ mm}$$

Užlenktos plokščios dalies plotis

$$b_{p,c} = c - t / 2 - g_r = 30 - 3 / 2 - 1,9 = 26,6 \text{ mm}$$

Skerspjūvio stačiais kampais plotas

$$A_{g,sh} = h \times t + 2 \times c \times t + 2(b - 2 \times t) \times t = 160 \times 3 + 2 \times 30 \times 3 + 2(125 - 2 \times 3) \times 3 = 1374 \text{ mm}^2$$

Skerspjūvio stačiais kampais inercijos momentas apie y-y ašį

$$\begin{aligned} I_{yg,sh} &= \frac{t \times h^3}{12} + 2 \left(\frac{t \times c^3}{12} + t \times c \left(\frac{h}{2} - \frac{c}{2} \right)^2 \right) + \\ &2 \left(\frac{(b - 2 \times t) \times t^3}{12} + (b - 2 \times t) \times t \times \left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2} \right)^2 \right) = \\ &\frac{3 \times 160^3}{12} + 2 \left(\frac{3 \times 30^3}{12} + 3 \times 30 \left(\frac{160}{2} - \frac{30}{2} \right)^2 \right) + \\ &2 \left(\frac{(125 - 2 \times 3) \times 3^3}{12} + (125 - 2 \times 3) \times 3 \times \left(\frac{160}{2} - \frac{3}{2} \right)^2 \right) = \\ &1,0240 \times 10^6 + 0,7605 \times 10^6 + 4,4003 \times 10^6 = 6,1848 \times 10^6 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Skerspjuvio charakteristikos įvertinant užapvalinimus

[5.1 form. LST EN 1993-1-3]

$$\delta = 0,43 \frac{\sum_{j=1}^n r_j \frac{\phi_j}{90^\circ}}{\sum_{i=1}^m b_{p,i}} = 0,43 \frac{\sum_{j=1}^4 r_j \frac{\phi_j}{90^\circ}}{\sum_{i=1}^5 b_{p,i}} =$$

$$0,43 \frac{4 \left(5 \frac{90^\circ}{90^\circ} \right)}{153,2 + 2 \times 118,2 + 2 \times 26,6} = 0,43 \times \frac{20,0}{442,8} = 0,01942$$

čia $n = 4$ – alkūninių elementų skaičius

$m = 5$ – plokščiųjų elementų skaičius

$$A_g = A_{g,sh} (1 - \delta) = 1374 (1 - 0,01942) = 1347,3 \text{ mm}^2,$$

$$I_g = I_{g,sh} (1 - 2\delta) = 6,1848 \times 10^6 (1 - 2 \times 0,01942) = 5,944 \times 10^6 \text{ mm}^4.$$

Skerspjuvio klasės

[5.2 lent. LST EN 1993-1-1]

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{500}} = 0,686$$

Gniuždomoji juosta

$$c = b - 2 \frac{t}{2} - 2g_r = 125 - 3 - 2 \times 1,9 = 118,2 \text{ mm},$$

$$\frac{c}{t} = \frac{118,2}{3} = 39,4 > 42\varepsilon = 42 \times 0,686 = 28,8 - 4 \text{ klasė}$$

Sienelė, gniuždomoji dalis nuo lenkimo

$$c = h - 2 \frac{t}{2} - 2g_r = 160 - 3 - 2 \times 1,9 = 153,2 \text{ mm} ,$$

$$72\varepsilon = 72 \times 0,686 = 49,4 < \frac{c}{t} = \frac{153,2}{3} = 51,1 > 83\varepsilon = 83 \times 0,686 = 56,9$$

– 2 klasė

Užlenktoji dalis

$$c = c - \frac{t}{2} - g_r = 30 - 1,5 - 1,9 = 26,6 \text{ mm} , \text{ (čia } c \text{ sutapo pažymėjimas,}$$

bet ne fizinė prasmė)

$$10\varepsilon = 10 \times 0,686 = 6,86 < \frac{c}{t} = \frac{26,6}{3} = 8,87 > 14\varepsilon = 14 \times 0,686 = 9,6$$

– 3 klasė

Efektivaus skerspjūvio charakteristikų skaičiavimas

Vartoti b_p vietoje \bar{b} [5.5.2 (1) p. LST EN 1993-1-3]
[4.1, 4.2 lent. LST EN 1993-1-5]

Gniuždomos juostos efektyvus plotis

$$\bar{b} = b_{p,f} = 118,2 \text{ mm}$$

Įtempiai per juostos plokščiąją dalį pasiskirsto tolygiai, todėl

$$\psi = \sigma_1 / \sigma_2 = 1$$

Tuomet

$$k_\sigma = 4 .$$

Sąlyginis juostos liaunis

[4.4 sk. LST EN 1993-1-5]

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{118,2/3}{28,4 \times 0,686\sqrt{4}} = 1,011$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,011 - 0,055(3 + 1)}{1,011^2} = 0,774, \text{ visada } \rho \leq 1,0$$

$$b_{eff} = \rho \bar{b} = 0,774 \times 118,2 = 91,49 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = b_{e2} = 0,5b_{eff} = 0,5 \times 91,73 = 45,74 \text{ mm}$$

Atsiknoјimas dėl šlyties

[3.1 p. LST EN 1993-1-5]

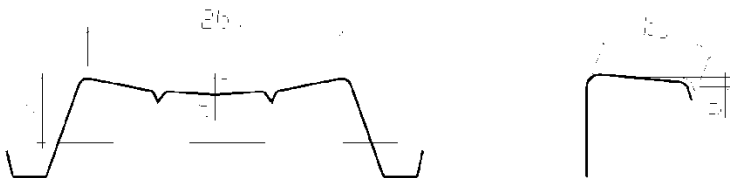
$$b_0 = (b - t) / 2 = (125 - 3) / 2 = 61 \text{ mm}$$

$$\frac{L_e}{50} = \frac{4000}{50} = 80$$

$$b_0 = 61 < \frac{L_e}{50} = 80, \text{ atsiknoјimo dėl šlyties galima nepaisyti}$$

Juostos įsvyris

[5.4 p. LST EN 1993-1-3]



5.3 paveikslas. Juostos įsvyris

14.2 pav. Juostos įsvyrio skaičiavimas (pagal 5.3 pav. EC3-3)

Įsvyris tiesaus neapkrauto profiliuotio

$$u = 2 \frac{\sigma_a^2 b_s^4}{E^2 t^2 z} = 2 \frac{190,2^2}{210000^2} \frac{59,1^4}{3^2 \times 78,5} = 0,0255 \text{ mm}$$

$$b_s = b_{p,f} / 2 = 118,2 / 2 = 59,1 \text{ mm (žr. pav.)}$$

$$z = \frac{h}{2} - \frac{t}{2} = 80 - 1,5 = 78,5 \text{ mm} - \text{nagrinėjamos juostos atstumas nuo neutraliosios ašies;}$$

$$\sigma_a = \frac{M_{Ed} z}{I_g} = \frac{14,4 \times 10^3 \times 10^3 \times 78,5}{5,944 \times 10^6} = 190,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)} - \text{juostų vidutiniai įtempiai, apskaičiuoti vartojant bendrąjį skerspjūvio plotą.}$$

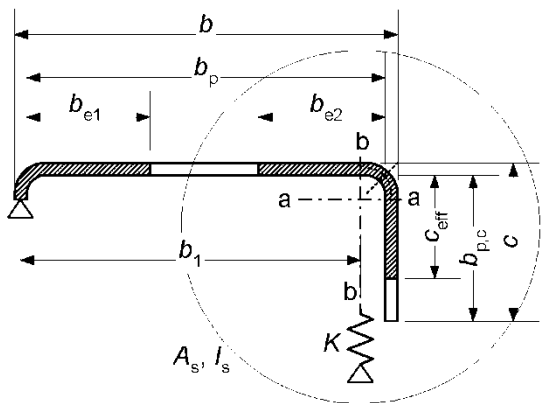
Kadangi

$$u = 0,0255 \text{ mm} < 5\% h = 0,05 \times 160 = 8 \text{ mm}$$

į juostos įsvirį galima neatsižvelgti.

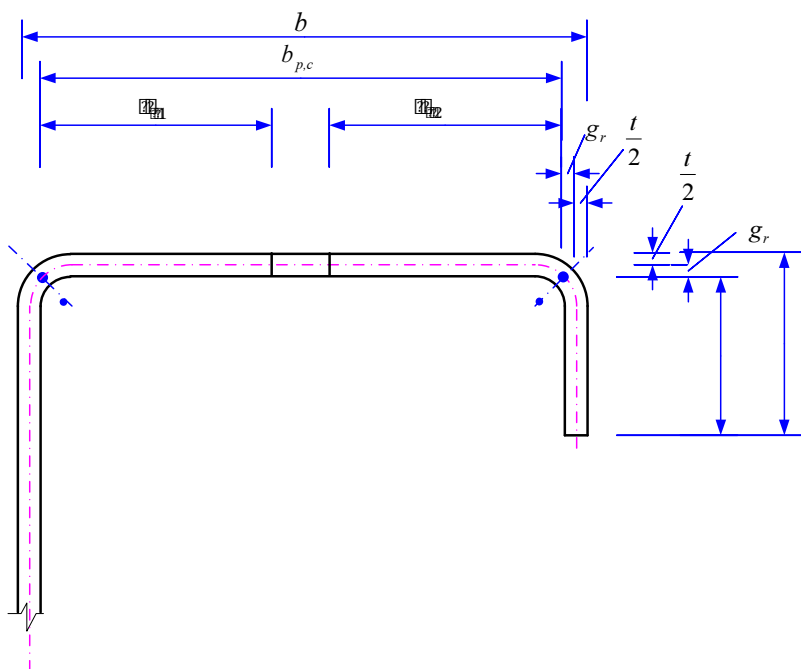
Elementas su kraštinėmis sąstandomis. Iškreipiamasis klupumas

[5.5.3 p. LST EN 1993-1-3]



5.7 pav.
[LST EN 1993-1-3]

14.3 pav. Kraštinė sąjunda (pagal EC3-3)



14.4 pav. Kraštinė sąstandos matmenys

1 žingsnis. Pradinis skerspjūvis. Apskaičiuoti pradinį efektyvųjį sąstandos skerspjūvio plotą, vartojant efektyviuosius pločius, nustatytus tariant, kad sąstanda suteikia visiškąjį įtvirtį

Juosta (žr. 4 klasė)

$$b = 125 \text{ mm}$$

$$b_{p,f} = 119,6 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = 91,73 \text{ mm}$$

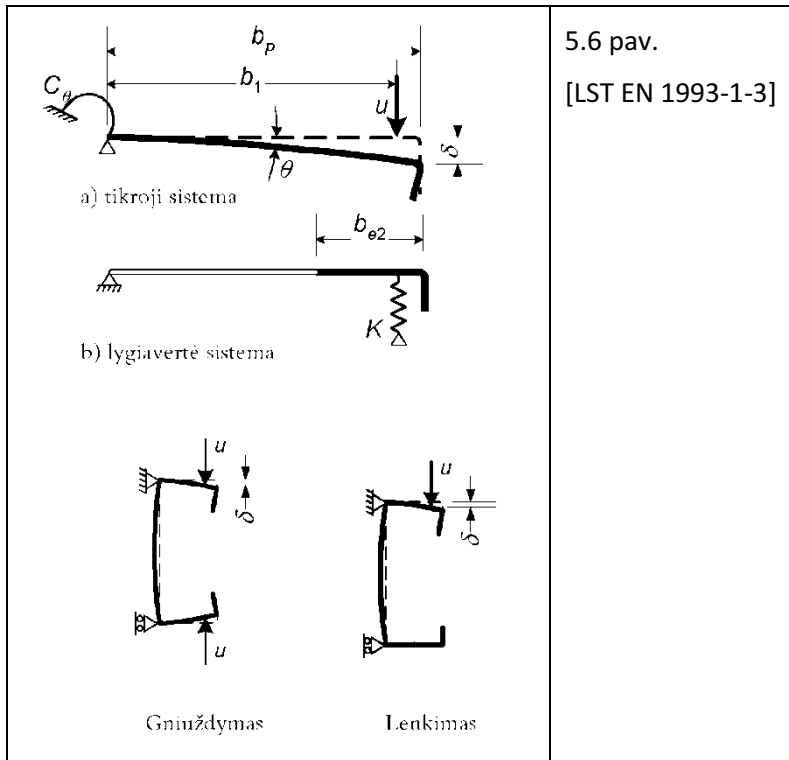
$$b_{e1} = b_{e2} = 45,86 \text{ mm}$$

Užlenktoji dalis (3 klasė)

$$b_{p,c} = 26,6 \text{ mm}$$

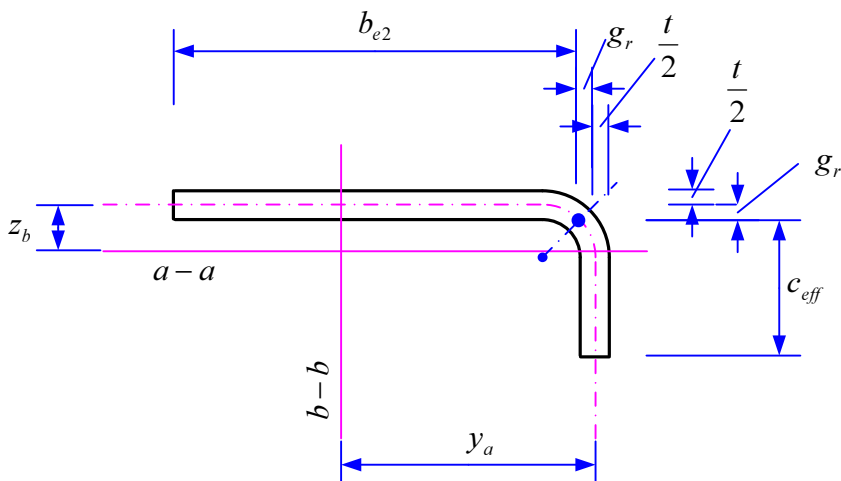
$c_{eff} = b_{p,c}$ – kadangi šį dalis yra 3 klasės

2 žingsnis. Remiantis pradiniu efektyviuoju sąstandos skerspjūvio plotu nustatyti iškreipos klumpumo (sąstandos lenkiamojo klumpumo) koeficientą, atsižvelgiant į ištisinio spyruoklinio įtvirčio poveikius



14.5 pav. Kraštinė sąstandos modeliavimas

Efektīvusis kraštinės sąstandos skerspjūvio plotas ir sunkio padėtis



14.6 pav. Efektīvusis kraštinės sąstandos skerspjūvis

$$A_s = t(b_{e2} + c_{eff}) = 3(45,74 + 26,6) = 217,02 \text{ mm}^2$$

$$S_{y,vidl} = t \times c_{eff} \times \left(\frac{c_{eff}}{2} + g_r \right) = 3 \times 26,6 \times \left(\frac{26,6}{2} + 1,9 \right) = 1212,96 \text{ mm}^3$$

$$z_b = \frac{S_{y,vidl}}{A_s} = \frac{1212,96}{217,02} = 5,59 \text{ mm}$$

$$S_{z,vidl} = t \times b_{e2} \times \left(\frac{b_{e2}}{2} + g_r \right) = 3 \times 45,74 \times \left(\frac{45,74}{2} + 1,9 \right) = 3398,94 \text{ mm}^3$$

Čia ir toliau indeksas *vidl* rodo, kad ašis eina per skerspjūvio viduriniąją liniją.

$$y_a = \frac{S_{z,vidl}}{A_s} = \frac{3398,94}{217,02} = 15,66 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_s = & \frac{b_{e2} \times t^3}{12} + b_{e2} \times t \times z_b^2 + \frac{c_{eff}^3 \times t}{12} + c_{eff} \times t \times \left(\frac{c_{eff}}{2} + g_r - z_b \right)^2 = \\ & \frac{45,74 \times 3^3}{12} + 45,74 \times 3 \times 5,59^2 + \frac{26,6^3 \times 3}{12} + \\ & 26,6 \times 3 \times \left(\frac{26,6}{2} + 1,9 - 5,59 \right)^2 = \\ & 102,92 + 4287,86 + 4705,27 + 7369,7 = 16465,75 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

I_s – efektyvusis sąstandos skerspjūvio ploto inercijos momentas, imamas kaip efektyviojo skerspjūvio ploto A_s rodiklis apie jo efektyviojo skerspjūvio sunkio centro ašį $a-a$.

Vienetinio ilgio spyruoklinis standis

Duomenys spyruoklinio standžio skaičiavimui

$b_1 = b - y_a - t / 2 = 125 - 15,66 - 3 / 2 = 107,84 \text{ mm}$ – atstumas nuo sienelės ir juostos jungties iki juostos kraštinės sąstandos efektyviojo skerspjūvio ploto sunkio centro

$k_f = 0$ – jei antroji juosta tempiama (lenkimas apie $y-y$ ašį) [5.5.3.1 p.

LST EN 1993-1-3]

$h_w = h - 2t = 160 - 2 \times 3 = 154 \text{ mm}$ – sienelės aukštis

Standis

$$K_1 = \frac{E t^3}{4(1-\nu^2)} \frac{1}{b_1^2 h_w + b_1^3 + 0,5 b_1 b_2 h_w k_f} =$$

$$\frac{210000 \times 3^3}{4(1-0,3^2)} \frac{1}{107,84^2 \times 154 + 107,84^3 + 0} = 0,8642 \text{ N/mm}^2$$

Tamprieji kritiniai kraštinės sąstandos įtempiai:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\sqrt{K E I_s}}{A_s} = \frac{2\sqrt{0,8642 \times 210000 \times 16465,75}}{217,02} =$$

$$503,78 \text{ N/mm}^2$$

Iškreipos klupumo (lenkiamojo sąstandos klupumo) koeficiento nustatymas

Sąlyginis liaunis

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{f_{yb}/\sigma_{cr,s}} = \sqrt{500/503,78} = 0,9962$$

Kai $0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38$ klupumo koeficientas apskaičiuojamas taip:

$$\chi_d = 1,47 - 0,723\bar{\lambda}_d = 1,47 - 0,723 \times 0,9962 = 0,7497$$

Sumažintasis efektyvusis sąstandos skerspjūvio plotas atsižvelgiama į lenkiamąjį klupumą:

$$A_{s,red} = \chi_d A_s \frac{f_{yb}/\gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}} = 0,7497 \times 217,02 \frac{500/1,0}{182,2} = 446,5 \text{ mm}^2,$$

čia gniuždomieji įtempiai ties sąstandos vidurio linija, apskaičiuoti vartojant efektyvųjį skerspjūvį

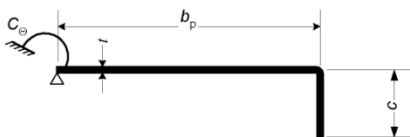
$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{Ed} \times \left(\frac{h}{2} - z_b - \frac{t}{2} \right)}{I_{yg,eff,sh}} = \frac{14,4 \times 10^3 \times 10^3 \times \left(\frac{160}{2} - 5,59 - \frac{3}{2} \right)}{5,7621 \times 10^6} = 182,2 \text{ N/mm}^2$$

Efektyvaus skerspjūvio inercijos momento $I_{yg,eff,sh}$ skaičiavimas bus pateiktas žemiau.

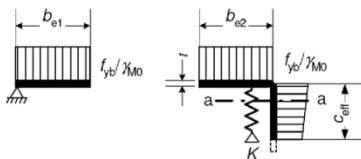
Kadangi $A_{s,red} > A_s$, $A_{s,red} = A_s = 217,02 \text{ mm}^2$ Naujos iteracijos ne-

būtinės (kitu atveju reiktų sumažinti sąstandos storį $\left(t_{red} = t \frac{A_{s,red}}{A_s} \right)$

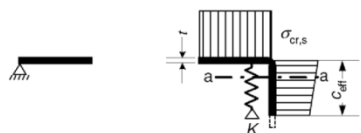
ir nuo 1 žingsnio (etapo) atlikti iteracinius skaičiavimus, kol klupumo koeficientas χ_d tarp dviejų iteracijų siekiamo tikslumo ribose nesi-
keistų (žr. 5.8 pav. LST EN 1993-1-3).



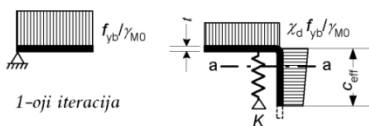
a) Bendrasis skerspjūvis ir kraštinės sąlygos



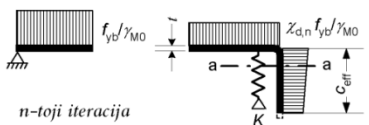
b) **1 etapas:** efektyvusis skerspjūvis, kai $K = \alpha$; remiantis sąlyga $\sigma_{com,Ed} = f_{yb}/\gamma_{M0}$



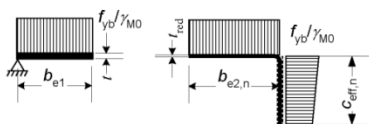
c) **2 etapas:** efektyviojo sąstandos skerspjūvio ploto A_s , nustatyto 1 etapu, tamprieji kritiniai įtempiai $\sigma_{cr,s}$



d) efektyviojo sąstandos skerspjūvio ploto A_s sumažintas stipris $\chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$, kai koeficientas χ_d grindžiamas $\sigma_{cr,s}$



e) **3 etapas:** papildomai pakartoti 1 etapą apskaičiuojant efektyvųjį plotį su sumažintaisiais gniuždomaisiais įtempiais $\sigma_{com,Ed,j} = \chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$; χ_d reikšmė taikoma iš ankstesnės iteracijos ir tęsiama iki $\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}$, bet $\chi_{d,n} \leq \chi_{d,(n-1)}$



f) imti efektyvųjį skerspjūvį, kurio b_{e2} , c_{eff} ir sumažintas storis t_{red} atitinka $\chi_{d,n}$

14.7 pav. Juostos su kraštine sąstanda gniuždomoji galia [LST EN 1993-1-3]

Patikslintos skerspjūvio charakteristikos

Efektyviojo skerspjūvio plotas

$$A_{eff,sh} = h \times t + 2 \times c \times t + (b - 2 \times t - 26,71) \times t + (b - 2 \times t) \times t =$$

$$160 \times 3 + 2 \times 30 \times 3 + (125 - 2 \times 3 - 26,71) \times 3 +$$

$$(125 - 2 \times 3) \times 3 = 1293,9 \text{ mm}^2$$

Čia $118,2 - 91,49 = 26,71$ – neefektyvus juostos plotis

Statinis momentas skerspjūvio apatinių sluoksnių atžvilgiu

$$S_{eff,sh} = t \times h \times \frac{h}{2} + c \times t \times \frac{c}{2} + c \times t \times \left(h - \frac{c}{2} \right) +$$

$$(b - 2 \times t) \times t \times \frac{t}{2} + (b - 2 \times t - 26,71) \times t \times \left(h - \frac{t}{2} \right) =$$

$$160 \times 3 \times \frac{160}{2} + 30 \times 3 \times \frac{30}{2} + 30 \times 3 \times \left(160 - \frac{30}{2} \right) +$$

$$(125 - 2 \times 3) \times 3 \times \frac{3}{2} + (125 - 2 \times 3 - 26,71) \times 3 \times \left(160 - \frac{3}{2} \right) =$$

$$38400 + 1350 + 13050 + 535,5 + 43884 = 97220 \text{ mm}^3$$

Sunkio centro padėtis nuo kraštinių tempiamų sluoksnių:

$$z_g = \frac{S_{y,eff,sh}}{A_{eff,sh}} = \frac{97220}{1293,9} = 75,14 \text{ mm}$$

Atstumas tarp viso ir efektyviojo skerspjūvio sunkio ašių

$$z_{g,eff} = \frac{h}{2} - z_g = \frac{160}{2} - 75,14 = 4,86 \text{ mm}$$

Efektyviojo skerspjūvio inercijos momentas

$$\begin{aligned}
I_{y,eff,sh} &= \frac{t \times h^3}{12} + t \times h \times z_{g,eff}^2 + 2 \frac{t \times c^3}{12} + t \times \\
&c \left(\frac{h}{2} - \frac{c}{2} + z_{g,eff} \right)^2 + t \times c \left(\frac{h}{2} - \frac{c}{2} - z_{g,eff} \right)^2 + \\
&\frac{(b-2 \times t) \times t^3}{12} + \frac{(b-2 \times t-27,87) \times t^3}{12} + \\
&(b-2 \times t-27,87) \times t \times \left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2} + z_{g,eff} \right)^2 + \\
&(b-2 \times t) \times t \times \left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2} - z_{g,eff} \right)^2 = \\
&\frac{3 \times 160^3}{12} + 3 \times 160 \times 4,86^2 + 2 \frac{3 \times 30^3}{12} + 3 \times \\
&30 \left(\frac{160}{2} - \frac{30}{2} + 4,86 \right)^2 + 3 \times 30 \left(\frac{160}{2} - \frac{30}{2} - 4,86 \right)^2 + \\
&\frac{(125-2 \times 3) \times 3^3}{12} + \frac{(125-2 \times 3-26,71) \times 3^3}{12} + \\
&(125-2 \times 3-26,71) \times 3 \times \left(\frac{160}{2} - \frac{3}{2} + 4,86 \right)^2 + \\
&(125-2 \times 3) \times 3 \times \left(\frac{160}{2} - \frac{3}{2} - 4,86 \right)^2 = \\
&1,0240 \times 10^6 + 0,01134 \times 10^6 + 0,0135 \times 10^6 + \\
&0,43924 \times 10^6 + 0,3255 \times 10^6 + 0,00027 \times 10^6 + \\
&0,00021 \times 10^6 + 1,92394 \times 10^6 + 1,93596 \times 10^6 = \\
&5,67396 \times 10^6 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

Skerspjuvio charakteristikos įvertinant užapvalinimus

$$\delta = 0,43 \frac{\sum_{j=1}^n r_j \frac{\varphi_j}{90^\circ}}{\sum_{i=1}^m b_{p,i}} = 0,43 \frac{\sum_{j=1}^4 r_j \frac{\varphi_j}{90^\circ}}{\sum_{i=1}^5 b_{p,i}} =$$

$$0,43 \frac{4 \left(5 \frac{90^\circ}{90^\circ} \right)}{153,2 + 118,2 + (118,2 - 26,71) + 2 \times 26,6} =$$

$$0,43 \frac{20,0}{416,09} = 0,02067$$

čia $n = 4$ – alkūninių elementų skaičius

$m = 5$ – plokščiųjų elementų skaičius

$$A_{eff} = A_{g,eff,sh} (1 - \delta) = 1293,9 \times (1 - 0,02067) = 1267,2 \text{ mm}^2,$$

$$I_{y,eff} = I_{y,eff,sh} (1 - 2\delta) = 5,67396 \times 10^6 \times (1 - 2 \times 0,02067) =$$

$$5,4394 \times 10^6 \text{ mm}^4.$$

Atsparumo momentai

$$W_{y,eff,min} = \frac{I_{y,eff}}{h - z_g} = \frac{5,4394 \times 10^6}{160 - 75,14} = 0,06410 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{y,eff,max} = \frac{I_{y,eff}}{z_g} = \frac{5,4394 \times 10^6}{75,14} = 0,07239 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Skerspjūvio laikomoji galia

Lenkiamoji laikomoji galia

$$M_{Rd} = W_{y,eff,min} \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} = 0,06420 \times 10^6 \times 10^{-9} \frac{500 \times 10^3}{1,0} = 32,1 \text{ kNm}$$

Kadangi $M_{Ed} = 14,4 \text{ kNm} < M_{Rd} = 32,46 \text{ kNm}$ lenkiamoji laikomoji galia pakankama

Šlyjamoji laikomoji galia

$$V_{Rd} = \frac{h_w t}{\sin \varphi} \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{\left(h - 2 \frac{t}{2}\right) \times t}{\sin 90^\circ} \times \frac{271,8 \times 10^3}{1,0} =$$

$$\frac{\left(160 - 2 \frac{3}{2}\right) \times 3}{1} \times 10^{-6} \times \frac{271,8 \times 10^3}{1,0} = 128,0 \text{ kN}$$

Šlyjamasis klumpamasis stipris nustatomas pagal 6.1 lent.
[LST EN 1993-1-3]

6.1 lentelė. Šlyjamasis klumpamasis stipris f_{bv}

Sąlyginis sienelės liaunis	Sienelė nesustandinta prie atramos	Sienelė sustandinta prie atramos ¹⁾
$\bar{\lambda}_w \leq 0,83$	$0,58 f_{yb}$	$0,58 f_{yb}$
$0,83 < \bar{\lambda}_w < 1,40$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,40$	$0,67 f_{yb} / \bar{\lambda}_w^2$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$

¹⁾ Sustandinta ties atrama, pvz., saulčiaupomis. Įrengtoji sienelė iškreipai išvengti ir suprojektuotomis atramomis reaktijai atlaikyti.

14.8 pav. Šlyjamasis klumpamasis stipeis [6.1 lent. EC3-3]

Sąlyginis sienelės liaunis

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} = 0,346 \frac{160 - 2 \frac{3}{2}}{3} \sqrt{\frac{500}{210000}} = 0,883$$

Tuomet šlyjamasis klumpamasis stipris

$$f_{bv} = \frac{0,48 f_{yb}}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,48 \times 500}{0,883} = 271,8 \text{ MPa}$$

Kadangi $V_{Ed} = 14,4 \text{ kN} < V_{Rd} = 128,0 \text{ kN}$ šlyjamoji laikomoji galia pakankama

Kartu veikiantis lenkimo momentas ir skersinė jėga

Pagal 6.1.10 (1) p. [LST EN 1993-1-3] pataisa dėl skersinės jėgos ne-taikoma, jei

$$V_{Ed} = 14,4 \text{ kN} \leq 0,5V_{Rd} = 0,5 \times 128,0 = 64,0 \text{ kN}.$$

Klumpamoji galia

Skersinis sukamasis klumpumas

6.2.4 (1) [LST EN 1993-1-3] teigia, kad skaičiuotinė lenkiamoji klumpamoji galia turi būti nustatyta pagal EN 1993-1-1 6.3.2.2 poskyrį remiantis skersinio klumpumo kreive b .

Sijos skaičiuotinė lenkiamoji klumpumo galia:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_{y,eff,min} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} =$$

$$0,5094 \times 0,06410 \times 10^6 \times 10^{-9} \frac{500 \times 10^3}{1,0} = 16,33 \text{ kNm}$$

Skersinio-sukamojo klumpumo koeficientas

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} =$$

$$\frac{1}{1,3149 + \sqrt{1,3149^2 - 1,144^2}} = 0,5094,$$

bet $\chi_{LT} \leq 1,0$,

čia:

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] =$$

$$0,5 \left[1 + 0,34 (1,144 - 0,2) + 1,144^2 \right] = 1,3149$$

$\alpha_{LT} = 0,34$ – nuokrypos koeficientas šaltai lankstytiems profiliams (b kreivė);

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,eff} f_{yb}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{0,06410 \times 10^6 \times 10^{-9} \times 500 \times 10^3}{24,5}} = 1,144$$

M_{cr} – tamprusis kritinis skersinio-sukamojo klupumo momentas.

Kritinio klupumo momento apskaičiavimo formulės duodamos literatūroje, pvz. Wei-Wen You *Cold-formed steel design* (yra mūsų skaitykloje)

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left(\left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2 \right]^{1/2} - (C_2 z_g) \right)$$

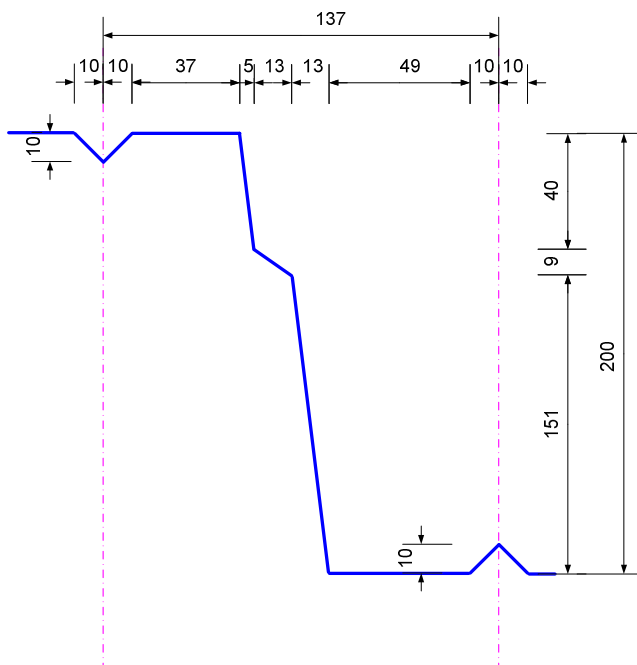
$$M_{cr} = 24,5 \text{ kNm}$$

Kadangi $M_{Ed} = 14,4 \text{ kNm} < M_{b,Rd} = 16,33 \text{ kNm}$ skersinio sukamojo klupumo laikomoji galia pakankama

Lenkiamo trapecinio lakštinio profiliuočio skaičiavimas

Apskaičiuoti trapecinio lakštinio profiliuočio lenkiamąją galią.

Profiluočio skerspjūvis parodytas paveiksle, o kiti duomenys pateikti žemiau.



14.9 pav. Profiluočio skerspjūvis

$$E = 210000 \text{ MPa} ,$$

$$f_y = f_{yb} = 320 \text{ MPa} ,$$

$$t = 0,7 \text{ mm} ,$$

$$r = 3 \text{ mm} , \text{ (pav. užapvalinimo spindulys neparodytas)}$$

Tikriname ar skaičiuojant skerspjūvio charakteristikas galime nekreipti dėmesio į užapvalinimus.

$$\frac{r}{t} = \frac{3}{0,7} = 4,2 < 5,$$

$\frac{r}{b_p} = \frac{3}{37} = 0,081 < 0,1$, pagal 5.1 p. galima nekreipti dėmesio į užapvalinimų įtaką.

Viršutinė juosta (1993-1-5 4.4 p., 4.1 lentelė)

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1,0, \text{ kadangi juostoje vienodi įtempiai}$$

$$k_\sigma = 4,0$$

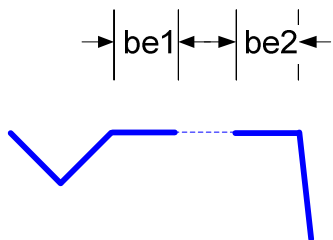
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{320}} = 0,857$$

$\bar{b} = b_p = 37 \text{ mm}$, čia \bar{b} – juostis plotis tarp sąstandų

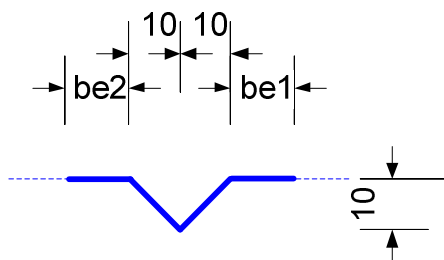
$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{37}{0,7}}{28,4 \cdot 0,857 \sqrt{4}} = 1,086$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \varphi)}{\lambda_p^2} = \frac{1,086 - 0,055(3 + 1,0)}{1,086} = 0,797 \leq 1,0$$

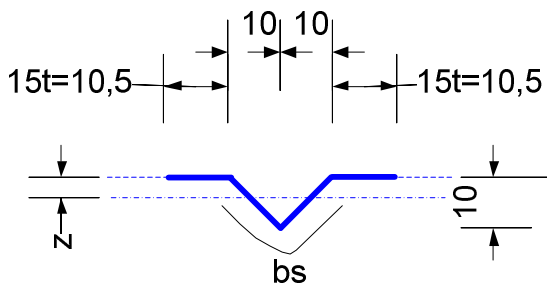
$$b_{e1} = b_{e2} = 0,5 \times 0,797 \times 37 = 14,75 \text{ mm}, (4.1 \text{ lent.})$$



Viršutinės juostos tarpinė sąstanda (1993-1-3 5.5.3.4.2 p., 5.11 pav.)



$$b_{e1} = b_{e2} = 14,75 \text{ mm}$$



$$A_s = 2t \left(10,5 + \frac{10}{\cos 45} \right) = 2 \times 0,7 \left(10,5 + \frac{10}{0,707} \right) = 34,502 \text{ mm}^2$$

$$S_0 = 2 \times 0,7 \times \frac{10}{0,707} \times 5 = 99,01 \text{ mm}^3$$

$$z = \frac{99,01}{34,502} = 2,87 \text{ mm}$$

Inercijos momentas apie sąstamos sunkio centrą:

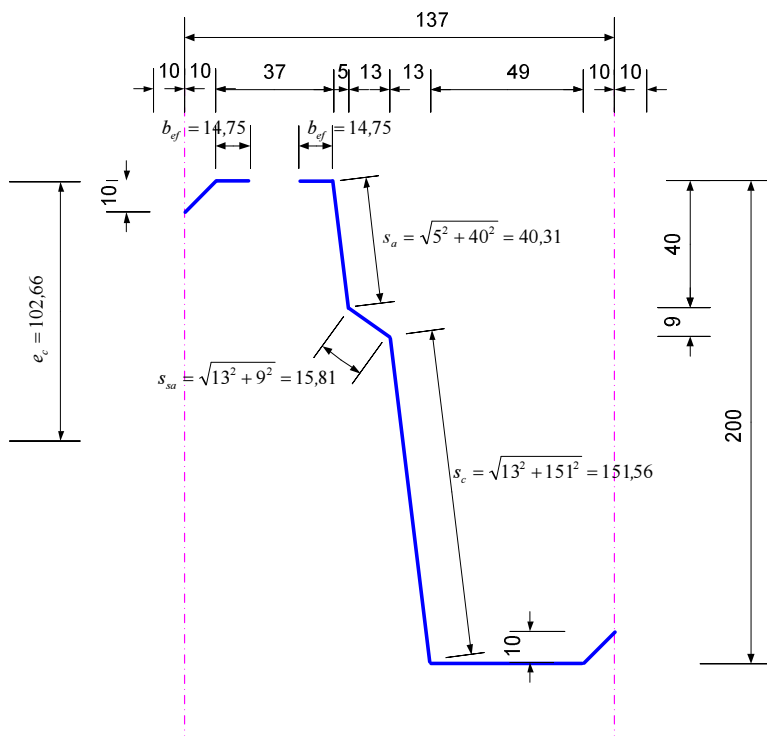
$$\begin{aligned} I_s &= 2 \left(\frac{10,5 \times 0,7^3}{12} + 10,5 \times 0,7 \times \left(2,87 - \frac{0,7}{2} \right)^2 \right) + \\ &2 \left(0,7 \times \frac{10}{0,707} \times \frac{10^2}{12} + 0,7 \times \frac{10}{0,707} (5 - 2,87)^2 \right) = \\ &2(0,300 + 46,675) + 2(82,508 + 44,920) = \\ &93,950 + 254,856 = 348,81 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Juostos sąstamos kritiniai įtempiai (5.5.3.4.2(2) form.)

$$\begin{aligned} \sigma_{cr,s} &= \frac{4,2k_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{4b_p^2(2b_p + 3b_s)}} = \frac{4,2 \times 1,0 \times 2100000}{34,502} \\ &\sqrt{\frac{348,81 \times 0,7^3}{4 \times 37^2 \left(2 \times 37 + 3 \frac{10}{0,707} \right)}} = 299,79 \text{ MPa} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right) \end{aligned}$$

$k_w = 1,0$ (priimta į atsargos pusę)

Viršutinės juostos ir sienelės skerspjūvio sunkio centras, laikant, kad visa sienelė yra efektyvi



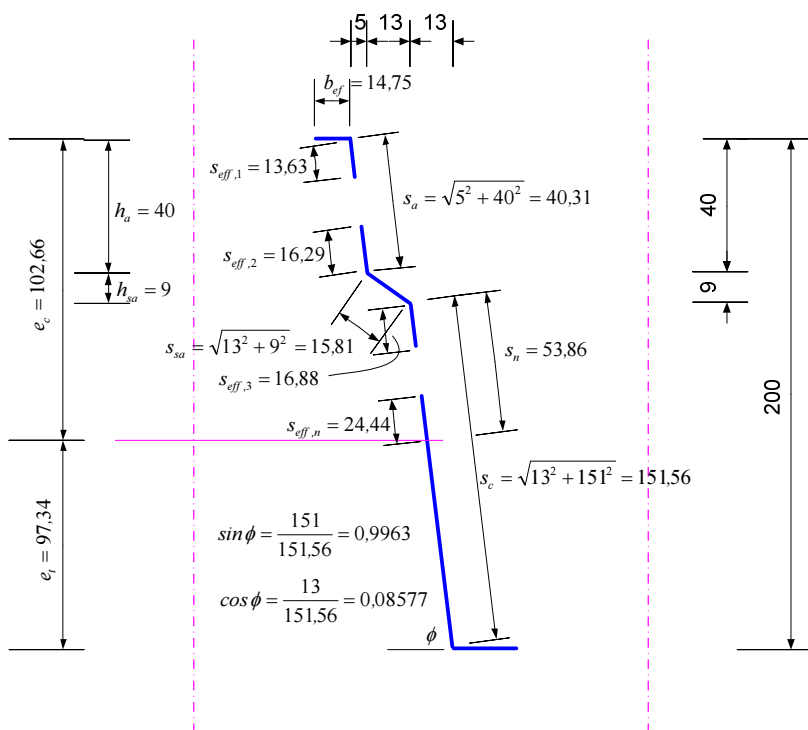
14.10 pav. Profiliuotio efektyvus skerspjuvio matmenys

$$A = t \left(\frac{10}{0,707} + 14,75 + 14,75 + 40,31 + 15,81 + 151,56 + 49 + \frac{10}{0,707} \right) = 220,13 \text{ mm}^2$$

$$S = t \left(\frac{10}{0,707} 5 + 40,31 \times 20 + 15,81 \times (40 + 4,5) + \right. \\ \left. 151,56 \times \left(40 + 9 + \frac{151}{2} \right) + 49 \times (40 + 9 + 151) + \right. \\ \left. \frac{10}{0,707} (40 + 9 + 151 - 5) \right) = 22597,57$$

$$e_c = \frac{S}{A} = 102,66 \text{ mm}$$

Viršutinės juostos ir sienelės skerspjūvio sunkio centras, kad visa sienelė nėra efektyvi



14.11 pav. Sienelēs efektyvaus skerspjūvio matmenys

$$S_{eff,0} = 0,76t \sqrt{\frac{E}{\gamma_{M0}\sigma_{com,Ed}}} = 0,76 \times 0,7 \sqrt{\frac{2100000}{1,0 \times 320}} = 13,63 \text{ mm}$$

$$S_{eff,1} = S_{eff,0} = 13,63 \text{ mm}$$

$$S_{eff,2} = \left(1 + \frac{0,5h_a}{e_c}\right) S_{eff,0} = \left(1 + \frac{0,5 \times 40}{102,66}\right) = 16,29 \text{ mm}$$

$$S_{eff,3} = \left(1 + \frac{0,5(h_a + h_{sa})}{e_c} \right) S_{eff,0} =$$

$$\left(1 + \frac{0,5(40+9)}{102,66} \right) 13,63 = 16,88 \text{ mm}$$

$$S_{eff,4} = S_{eff,n} = 1,5 S_{eff,0} = 20,44 \text{ mm}$$

Pagal 5.5.3.4.3 reikia patikrinti ar sienelė visiškai neklupi, tam:

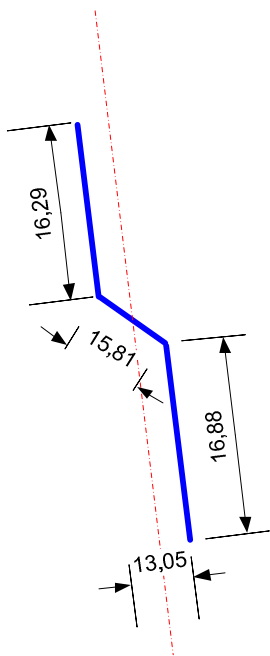
$$S_{eff,1} + S_{eff,2} = 13,63 + 16,29 = 25,92 \text{ mm} < S_a = 40,31 \text{ mm}$$

$$S_{eff,3} + S_{eff,n} = 16,88 + 20,44 = 37,32 \text{ mm} < S_n =$$

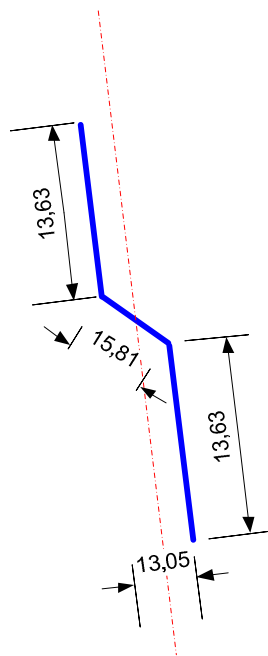
$$\frac{e_c - h_a - h_{sa}}{\sin \phi} = \frac{102,66 - 40 - 9}{0,9963} = 53,86 \text{ mm}$$

Sienelė yra klupi ir perskaičiuoti nereikia.

Sienelės sąstanda



Ploto skaičiavimui



Inercijos momento skaičiavimui

14.12 pav. Sienelės sąstanda

$$A_{sa} = 0,7(16,29 + 15,81 + 16,88) = 34,29 \text{ mm}^2$$

$$I_s = 0,7 \left(15,81 \frac{13,05^2}{12} + 2 \times 13,63 \left(\frac{13,05}{2} \right)^2 \right) = 969,49 \text{ mm}^4$$

Kai yra viena sąstanda ir ji yra arčiau gniuždomos juostos, jos tamprieji kritiniai įtempiai apskaičiuojami taip (5.39a)

$$\sigma_{cr,sa} = \frac{1,05k_f E \sqrt{I_s t^3 s_1}}{A_{sa} s_2 (s_1 - s_2)} = \frac{1,05 \times 1,0 \times 2100000 \sqrt{969,49 \times 0,7^3 \times 186,91}}{34,29 \times 138,70 (186,91 - 138,70)} = 239,75 \text{ MPa}$$

$k_f = 1,0$ (imame su tam tikra atsarga)

$$S_1 = 0,9(S_a + S_{sa} + S_c) = 0,9(40,31 + 15,81 + 151,56) = 186,91 \text{ mm}$$

$$S_2 = S_1 - S_a - 0,5S_{sa} = 186,91 - 40,31 - 0,5 \times 15,81 = 138,70 \text{ mm}$$

Sąveika sąstandų joust ir sienelės: sumažintas efektyvusis sąstandos plotas (5.40)

$$A_{sa,red} = \frac{\chi_d A_{sa}}{1 - \frac{h_a - 0,5h_{sa}}{e_c}}$$

Kadangi juostoje yra sąstanda, tai skaičiavimams reikia taikyti patikslintus kritinius įtempius (5.5.3.4.4)

(5.5.3.4.4)

$$\sigma_{cr,mod} = \frac{\sigma_{cr,s}}{\sqrt[4]{1 + \left(\beta_s \frac{\sigma_{cr,s}}{\sigma_{cr,sa}} \right)^4}} = \frac{299,79}{\sqrt[4]{1 + \left(0,5665 \frac{299,79}{239,75} \right)^4}} = \frac{299,79}{1,0577} = 283,44 \text{ MPa}$$

$$\beta_s = 1 - \frac{(h_a - 0,5h_{sa})}{e_c} = 1 - \frac{40 - 0,5 \times 9}{102,66} = 0,5665$$

Klumpo koeficientas

Pagal 5.5.3.1(7)

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr,s}}} = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr,mod}}} = \sqrt{\frac{320}{283,44}} = 1,062$$

Kai

$$0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38$$

$$\chi_d = 1,47 - 0,723\bar{\lambda}_d = 1,47 - 0,723 \times 1,062 = 0,702$$

Redukuotas plotas

$$A_{sa,red} = \frac{\chi_d A_{sa}}{1 - \frac{h_a - 0,5h_{sa}}{e_c}} = \frac{0,702 \times 34,29}{1 - \frac{40 - 0,5 \times 9}{102,66}} =$$

$$36,80 \text{ mm}^2 > A_{sa} = 34,29 \text{ mm}^2$$

Todėl storio mažinti nereikia, t. y. tikrasis ir redukuotas plotas sutampa.

Literatūra

1. Yu, W. W. Cold-formed steel design. Wiley, 2000. 756 p.
2. Ghersi, A. Design of metallic cold-formed thin-walled members. Spon Press, 2002. 164 p.
3. Galambos, T. V. Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures. Wiley & Sons, 1998.
4. Sputo, T.; Turner, J. L. Bracing cold-formed steel structures : a design guide / - Reston (Va.), 2006. 144 p.
5. LST EN 1993-1-3 Eurokodas 3. Plieninių konstrukcijų projektavimas. 1–3 dalis. Bendrosios taisyklės. Šaltai suformuotų elementų ir lakštų papildomos taisyklės, 2008 m.
6. LST EN 1993-1-1+AC Eurokodas 3. Plieninių konstrukcijų projektavimas. 1–1 dalis. Bendrosios ir pastatų taisyklės, 2007 m.
7. LST EN 1993-1-8+AC Eurokodas 3. Plieninių konstrukcijų projektavimas. 1–8 dalis. Mazgų projektavimas, 2007 m.
8. Worked examples according to EN 1993-1-3. ECCS technical committee 7, 2008, No. 123.
9. Gardner, L.; Nethercot, D. A. Designers' guide to EN 1993-1-1: eurocode 3: design of steel structures: general rules and rules for buildings. London: Thomas Telford, 2005.

A priedas

PLONASIENIŲ ELEMENTŲ LENKIMAS IR SUKIMAS

Lenkiami elementai, kai skersinė apkrova neina per skerspūvio šlyties centrą, yra veikiamos lenkimo ir sukimo momentų. Paprastumo dėlei aptarsime plokščiojo lenkimo atvejį $x-z$ plokštumoje. Tuomet normaliniai įtempiai statmeni skerspūviui ir tangentiniai įtempiai skerspūvio plokštumoje turi būti skaičiuojami:

1. Nuo plokščiojo lenkimo:

σ_x – normalinai įtempiai išilgai elemento

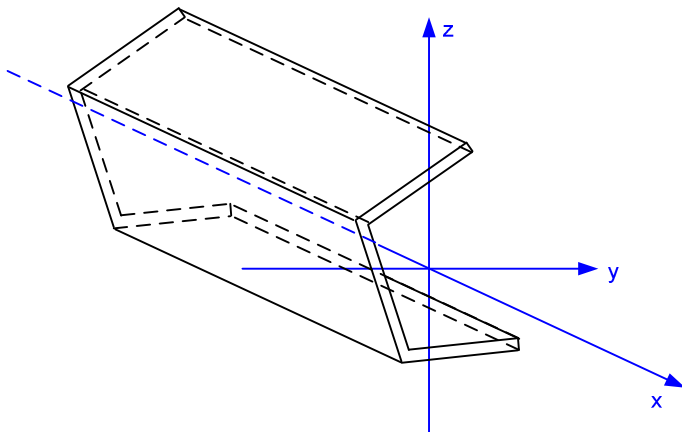
τ_{xz} – tangentiniai įtempiai skerspūvio plokštumoje z ašies kryptimi

2. Nuo sukimo:

σ_ω – normalinai įtempiai išilgai elemento dėl skerspūvio iškraipos (deplanacijos) (*ang. warping*)

τ_t – sukimo tangentiniai įtempiai skerspūvyje (arba Senvenano tangentiniai įtempiai)

τ_w – tangentiniai įtempiai skerspūvyje dėl skerspūvio iškraipos



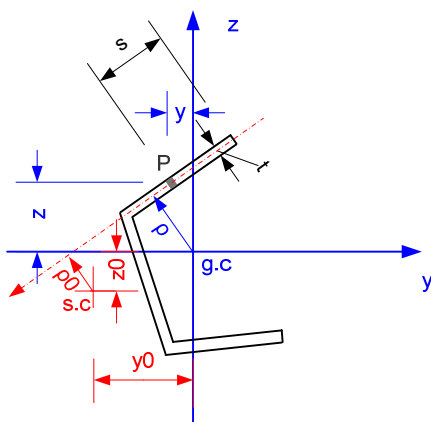
A.1 pav. Plonasienio elemento skerspjūvis

Bendruoju atveju išilginiai normaliniai įtempiai, tangentiniai įtempiai skerspjūvio plokštumoje ir sukimo tangentiniai įtempiai (σ_x , τ_{xz} , τ_t) apskaičiuojami pagal gerai žinomas medžiagų atsparumo formules.

Čia aptarsime kaip apskaičiuojami įtempiai plonasieniuose elementuose, kai pridėta skersinė apkrova neina per šlyties centrą.

Šlyties centras

Aptarkime pav. parodytą atvirtąjį skerspjūvį.



A.2 pav. Plonasienio elemento skerspjuvio pažymėjimai

Čia:

$g.c$ – skerspjuvio sunkio centras

y, z – skerspjuvio ašys

$s.c$ – šlyties centras

y_0, z_0 – šlyties centro koordinatės

t – sienelės storis

y, z – atstumai nuo sunkio centro iki taško P , esančio ant skerspjuvio vidurinėsios linijos

s – atstumas išilgai vidurinėsios linijos nuo vieno skerspjuvio krašto link taško P

l – viso skerspjuvio vidurinėsios linijos ilgis

ρ – statmenas atstumas nuo skerspjuvio sunkio centro iki vidurinėsios linijos; ρ reikšmė yra teigiama jei žiūrint iš taško P link teigiamos tangento krypties, sunkio centras yra į kairę

Šlyties centro koordinatės apskaičiuojamos taip:

$$y_0 = \frac{I_{z\omega}}{I_y}$$

$$z_0 = \frac{I_{y\omega}}{I_z}$$

Čia sektorinės konstantos:

sektoriniai tiesiniai ploto momentai

$$I_{yw} = \int_0^l \omega y t \, ds$$

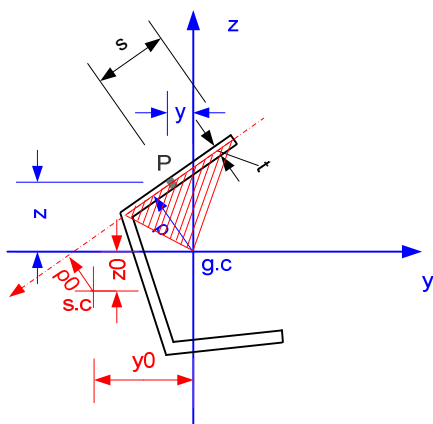
$$I_{zw} = \int_0^l \omega z t \, ds$$

sektorinis inercijos momentas

$$I_{ww} = \int_0^l \omega^2 t \, ds$$

sektorinis plotas

$$\omega = \int_0^l \rho \, ds$$

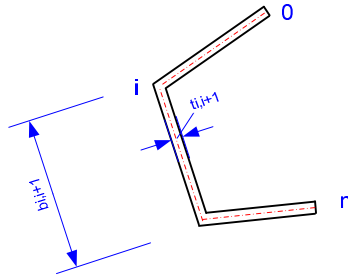


Sektorinis plotas tai dvigubas trikampio plotas, kuri gauname judant taškui viduriniąja linija nuo skerspjūvio pradžios iki tam tikros lanko s reikšmės.

Dažniausiai priimama tokia ženklų taisyklė: pagal laikrodžio rodyklę tai laikome, kad sektorinio ploto prieaugis teigiamas ir atvirkščiai. Polius pasirenkamas laisvai, bet dažnai sutartinamas su sunkio centru

Jei sektorinį plotą nustatome šlyties centro atžvilgiu, tai tuomet turime svarbiausią sektorinį plotą.

Dažniausiai lankstyti profiliai sudaryti iš plokščių elementų (pav.). Tuomet



A.3 pav. Plonasienis skerspjūvis iš plokščių elementų

Sektorinės charakteristikos:

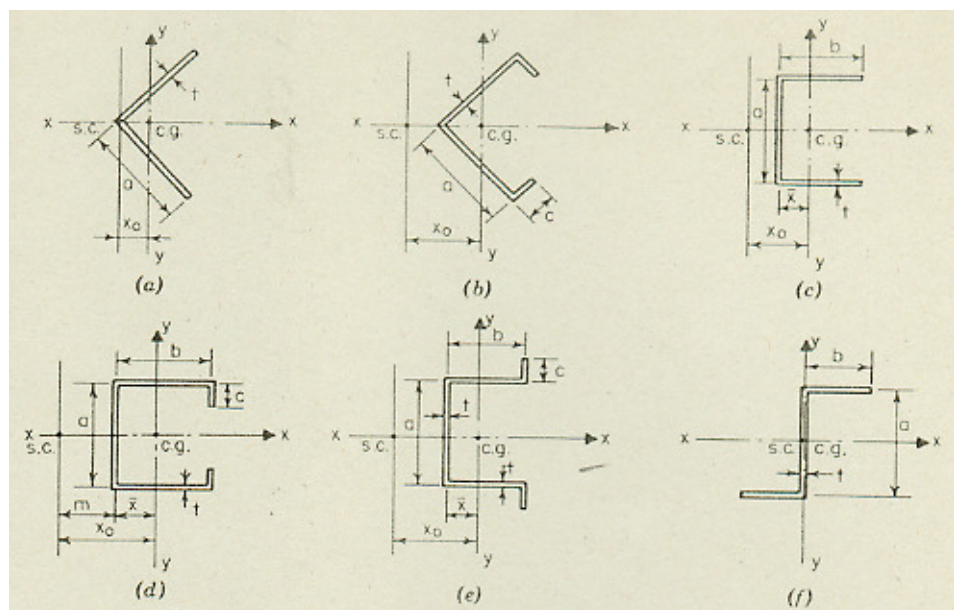
$$\omega_i = \sum_{i=0}^{i=j-1} \rho_{i,i+1} b_{i,i+1}$$

$$I_{wy} = \frac{1}{3} \sum_{i=0}^{i=n-1} (\omega_i y_i + \omega_{i+1} y_{i+1}) t_{i,i+1} b_{i,i+1} + \frac{1}{6} \sum_{i=0}^{i=n-1} (\omega_i y_{i+1} + \omega_{i+1} y_i) t_{i,i+1} b_{i,i+1}$$

$$I_{wz} = \frac{1}{3} \sum_{i=0}^{i=n-1} (\omega_i z_i + \omega_{i+1} z_{i+1}) t_{i,i+1} b_{i,i+1} + \frac{1}{6} \sum_{i=0}^{i=n-1} (\omega_i z_{i+1} + \omega_{i+1} z_i) t_{i,i+1} b_{i,i+1}$$

Skačiuojant pagal šias formules paklaida skerspjūviams, kurie turi užapvalintus kampus gali siekti iki 5 %.

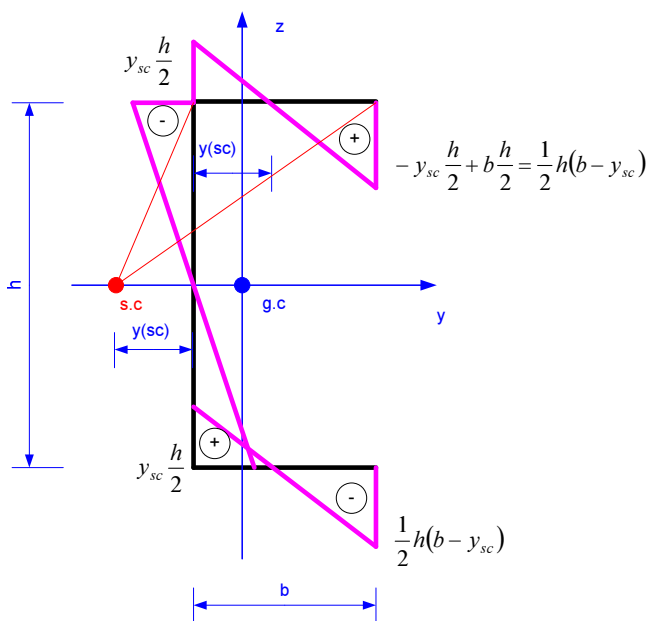
Dažnai naudojamų skerspjūvių sunkio centro ir šlyties centro padėtys. Čia sunkio centras pažymėtas *c.g.*, *y* asis pažymėta *x*, o *z* asis pažymėta *y*.



A.4 pav. Plonasienių skerspjūvių sunkio ir šlyties centrų padėtys

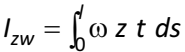
Pavyzdys

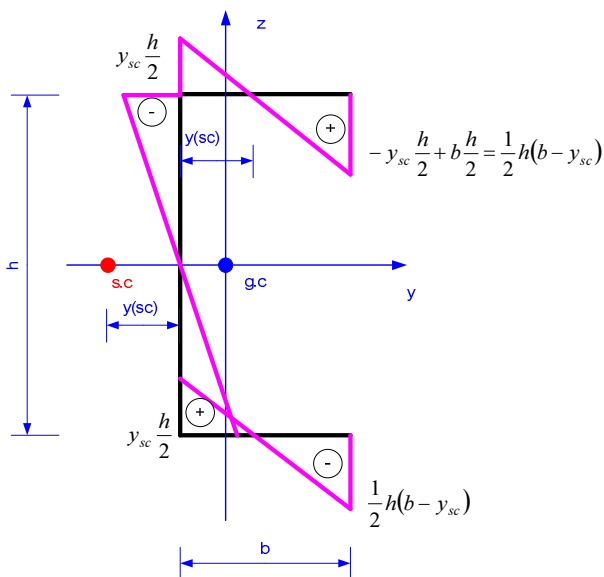
Sektorinis plotas ($\omega = \int_0^l \rho \, ds$)



Sektoriniai ploto momentai

$$I_{yw} = \int_0^l \omega y t \, ds$$





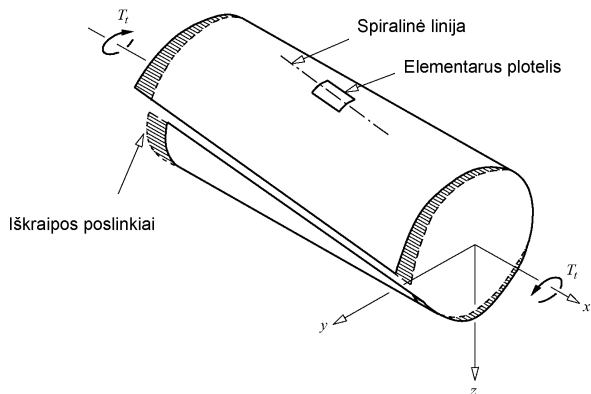
Įtempiai nuo sukimo

Nuo sukimo:

σ_w – normaliniai įtempiai išilgai elemento dėl skerspjuvio iškraipos (deplanacijos) (*ang. warping*)

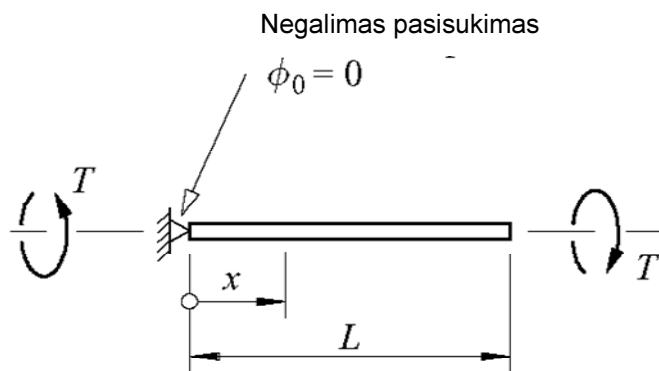
τ_t – sukimo tangentiniai įtempiai skerspjuvyje (arba Senvenano tangentiniai įtempiai)

τ_w – tangentiniai įtempiai skerspjuvyje dėl skerspjuvio iškraipos



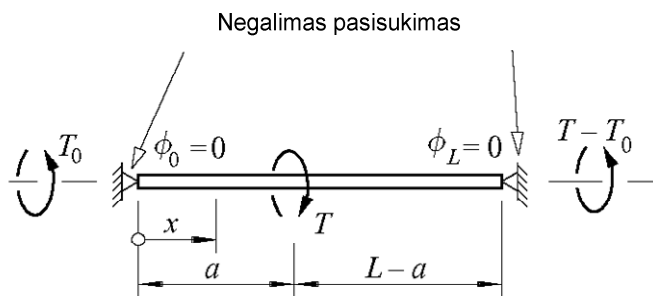
A.5 pav. Plonasienio skerspjuvio sukimas

Nesuvaržytas sukimas



A.6 pav. Plonasienio skerspjuvio nesuvaržytas sukimas

Suvaržytas sukimas (yra sukamasis įtvirtis)



A.7 pav. Plonasienio skerspjūvio suvaržytas sukimas

Nesuvaržyto sukimo atvejis

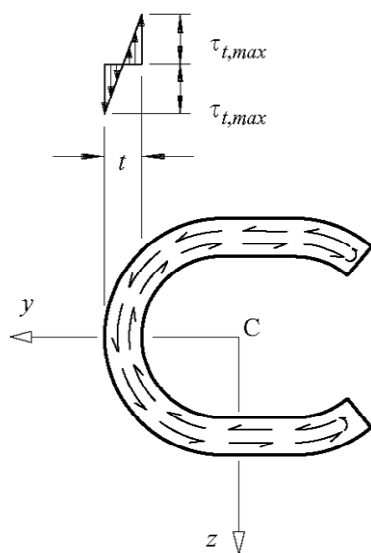
Atsiranda tik τ_t – sukimo tangentiniai įtempiai skerspjūvyje (arba Senvenano tangentiniai įtempiai)

$$\tau_t = \tau_{t,\max} = \frac{Tt}{I_s}$$

T – sukimo momentas

t – elemento storis

I_t – skerspjūvio sukimo inercijos momentas



(a) atviras skerspjūvis

A.8 pav. Plonasienio nesuvaržyto skerspjūvio tangentiniai įtempiai

Suvaržyto sukimo atvejis (yra sukamasis įtvirtis)

Atsiranda:

σ_w – normaliniai įtempiai išilgai elemento dėl skerspjūvio iškraipos (deplanacijos) (*ang. warping*)

τ_t – sukimo tangentiniai įtempiai skerspjūvyje (arba Senvenano tangentiniai įtempiai)

τ_w – tangentiniai įtempiai skerspjūvyje dėl skerspjūvio iškraipos

τ_t – sukimo tangentiniai įtempiai skerspjūvyje apskaičiuojami taip pat kaip nesuvaržyto sukimo atveju.

σ_ω – normaliniai įtempiai išilgai elemento dėl skerspjūvio iškraipos (deplanacijos) (*ang. warping*)

$$\sigma_\omega = E\omega_n \frac{d^2\phi}{dx^2}$$

E – tamprumo modulis

ω_n – svarbiausias sektorinis plotas

ϕ – skerspjūvio pasisukimo kampas (galima apskaičiuoti arba rasti duodamas formules literatūroje)

ω_n – svarbiausias sektorinis plotas, tai sektorinis plotas, kai polius sutampa su šlyties centru ir $\int_A \omega dA = 0$.

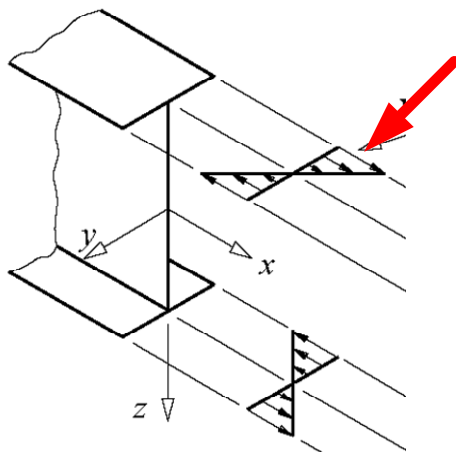
Literatūroje duodami įvairūs būdai kaip rasti svarbiausią sektorinį plotą, pvz.

$$\omega_n = \omega + C$$

čia

$$C = \frac{\int \omega dA}{A}$$

Šie normaliniai įtempiai yra atsisveriantys ir todėl jų iš pusiausvyros lygčių negalima rasti

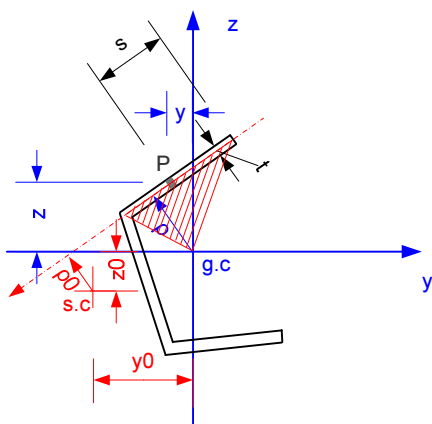


A.9 pav. Plonasienio suvaržyto skerspjūvio normaliniai iškraipos įtempiai

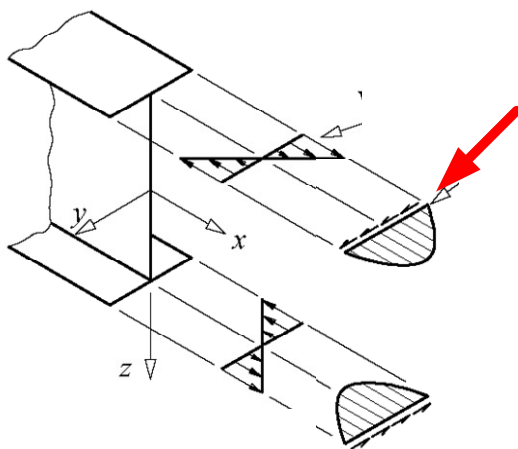
τ_w – tangentiniai įtempiai skerspjūvyje dėl skerspjūvio iškraipos

$$\tau_w = \frac{ES_\omega \frac{d^3\phi}{dx^3}}{t}$$

$S_w = \int_0^z \omega_n t ds$ – sektorinis statinis momentas skerspjūvio dalies (vienos skerspjūvio dalies nuo taško P)



Tangentinių įtempių pasiskirstymas:



A.10 pav. Plonasienio suvaržyto skerspjūvio tangentiniai įtempiai

Alfonsas DANIŪNAS

PLONASIENĖS METALINĖS KONSTRUKCIJOS

Mokomoji knyga

2012-09-23. aut. l.

El. versija pagal leidinio identifikatorių doi:10.3846/1410-S

Vilniaus Gedimino technikos universiteto

leidykla „Technika“, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius

<http://leidykla.vgtu.lt>

Spausdino UAB „Ciklonas“,

J. Jasinskio g. 15, LT-0111 Vilnius